

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Simulace bezpečnostní kontroly cestujících na letišti

Simulation of Passenger Security Control at Airport

Student:

Lukáš Šodek

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Michal Dorda, Ph.D.

Zadání bakalářské práce

Student:

Lukáš Šodek

Studijní program:

B3712 Technologie letecké dopravy

Studijní obor:

3708R037 Technologie provozu letecké techniky

Téma:

Simulace bezpečnostní kontroly cestujících na letišti
Simulation of Passenger Security Control at Airport

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Cíl práce:

Cílem závěrečné práce je v simulačním software Witness vytvořit simulační model bezpečnostní kontroly cestujících a na základě experimentů s tímto modelem odhadnout teoretickou kapacitu pracoviště bezpečnostní kontroly.

Předpokládaná osnova práce:

1. Úvod.
2. Charakteristika modelovaného procesu – nastavení výchozích podmínek.
3. Simulace a simulační software Witness.
4. Popis vytvořeného simulačního modelu.
5. Vyhodnocení simulačních experimentů.
6. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

BÍNA, L. ŽIHLA, Z.: *Bezpečnost v obchodní letecké dopravě*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-707-9.

VOLNER, R.: *Bezpečnostní management v letectví*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1918-1.

Letecké předpisy L.

Manuály k simulačnímu software Witness.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Michal Dorda, Ph.D.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020



prof. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry

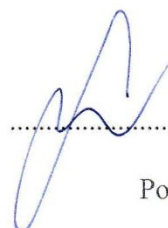


prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

Ve Vratimově 18.5.2020....

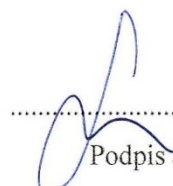


Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Ve Vratimově 11.5.2020...


.....
Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce: Lukáš Šodek

Adresa trvalého pobytu autora práce: Emaná Skřivý 358, Vratimov 739 32

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

ŠODEK, L. *Simulace bezpečnostní kontroly cestujících na letišti: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Technologie letecké dopravy, 2020, 66 s. Vedoucí práce: Dorda, M.

Bakalářská práce se zabývá tvorbou simulace procesu bezpečnostní kontroly na letišti v simulačním programu WITNESS. První část práce se věnuje charakteristice procesu bezpečnostní kontroly. Zahrnuje personál bezpečnostní kontroly a obecný popis postupu a prvků bezpečnostní kontroly na letišti. Na Letišti Ostrava a.s. bylo prováděno měření, ze kterého se vycházelo při tvorbě samotné simulace. Naměřené hodnoty a popis měření je popsán v samostatné podkapitole. Další kapitola se zabývá představením samotného simulačního programu WITNESS a jeho základních funkcí. Za touto kapitolou následuje zpracování statistického souboru. V další části práci je popsána tvorba simulačního modelu. Závěr práce se věnuje simulačním experimentům, které jsou zpracovány ve formě tabulek a grafů.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

ŠODEK, L. *Simulation of Passenger Security Control at Airport: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Air Transport Technology, 2020, 66 p. Thesis head: Dorda, M.

The bachelor's thesis deals with the creation of a simulation of the security control process at the airport in the WITNESS simulation program. The first part deals with the characteristics of the security control process. Includes security control staff and a general description and elements of the security control procedure at the airport. The measurement was performed at Ostrava Airport a.s., which was used to create the simulation itself. The measured values and the description of the measurement are described in a separate subchapter. The next chapter deals with the introduction of the simulation program WITNESS and its basic functions. This chapter is followed by the processing of the statistical file. The next part of the thesis describes the creation of a simulation model. The conclusion of the work is devoted to simulation experiments, which are processed in the form of tables and graphs.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	9
1 ÚVOD.....	10
2 Charakteristika procesu bezpečnostní kontroly cestujících na letišti	11
2.1 Personál bezpečnostní kontroly cestujících na letišti.....	11
2.1.2 Požadavky na personál bezpečnostní kontroly	11
2.2 Proces bezpečnostní kontroly cestujících a jejich příručních zavazadel na letišti	13
2.3 Prvky a přístroje používané při bezpečnostní kontrole cestujících na letišti.....	13
2.3.1 Bezpečnostní rentgeny	13
2.3.2 Detektory kovu.....	14
2.3.3 Osobní prohlídka.....	17
2.3.4 Detektory výbušnin	17
2.3.5 Detektory radioaktivních látek.....	18
2.3.6 Milivize.....	20
3 Simulace a simulační software Witness.....	21
3.1 Software Witness	21
3.2 Uživatelské prostředí.....	21
3.3 Prvky simulačního softwaru	22
3.3.1 Součást.....	23
3.3.2 Zásobník	24
3.3.3 Stroj	25
3.4 Základní vstupní, výstupní pravidla a funkce.....	27
3.5 Generování pseudonáhodných čísel	27
3.6 Spolupráce s MS Excel.....	28
3.7 Naměření hodnot na letišti a průběh bezpečnostní kontroly	28
4 Statistika.....	32
4.1 Výběrová charakteristika	32
4.2 Zpracování statistického souboru.....	34

5	Tvorba modelu v simulačním softwaru Witness	37
5.1	Nastavení součástí	39
5.2	Nastavení zásobníků	42
5.3	Nastavení strojů	42
5.4	Nastavení zápisu do MS Excel	45
6	Simulační experimenty	47
6.1	Nastavení experimentu	47
6.2	Experiment s porovnáním intenzity vstupního toku	48
6.2.1	Nastavení simulačního experimentu	48
6.2.2	Vyhodnocení simulačního experimentu	49
6.3	Experiment s porovnáním využití 1 linky a 2 linek	51
6.3.1	Nastavení simulace	51
6.3.2	Vyhodnocení simulace	52
6.4	Experiment s porovnáním využití 1 linky a 2 linek s dvěma lety	54
6.4.1	Nastavení simulace	54
6.4.2	Vyhodnocení simulace	54
6.5	Experiment se změnou doby bezpečnostní kontroly	56
6.5.1	Nastavení simulace	56
6.5.2	Vyhodnocení simulace	56
7	ZÁVĚR	59
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	61
	SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ	63
	SEZNAM PŘÍLOH	65

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

L 17		Letecký předpis L 17
ICAO	International Civil Aviation Organization	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
RTG	Rentgen	Rentgen
μS	Micro Sievert	Mikrosievert
B	Magnetic induction	Magnetická indukce
LiF	Lithium Fluorid	Fluorid lithný

1 ÚVOD

Cílem této bakalářské práce je nasimulování procesu bezpečnostní kontroly na letišti. Při simulaci bylo vycházeno z měření na letišti, které proběhlo na Letišti Ostrava, a.s. Jako vhodný nástroj pro simulaci procesu bezpečnostní kontroly byl vybrán simulační software WITNESS.

Bakalářská práce je rozdělená do sedmi kapitol. Po úvodní kapitole následuje část, která je věnována charakteristice procesu bezpečnostní kontroly na letišti. Popsány jsou nároky na personál bezpečnostní kontroly a přístroje používané při bezpečnostní kontrole.

Následující kapitola popisuje simulační program WITNESS a jeho základní funkce. Dále je v této kapitole popsán proces měření dat.

Čtvrtá kapitola je věnována teorii a vzorcům, které jsou potřebné pro zjištění základních číselných charakteristik statistického souboru.

V páté kapitole je rozebrán proces tvorby základního simulačního modelu bezpečnostní kontroly na letišti podle naměřených hodnot na Letišti Ostrava, a.s.

Další kapitola se zabývá tvorbou a vyhodnocením simulačních experimentů. Veškeré výsledky jsou shrnuty v závěru práce.

2 Charakteristika procesu bezpečnostní kontroly cestujících na letišti

Tato kapitola byla zpracována pomocí zdrojů [1] [2] [3].

2.1 Personál bezpečnostní kontroly cestujících na letišti

Základní úlohou pracovníků bezpečnostní kontroly letiště je ochrana neveřejné plochy letiště a v souvislosti s tím zajištění bezpečnosti nejen cestujících, ale také celé letecké dopravy před různými protiprávními činy. Tito zaměstnanci jsou proškoleni pro asistenční činnosti, spočívající v pomoci a poskytování informací cestujícím v přípravě na bezpečnostní kontrolu a jejím průběhu. V případě nedostatečné informativnosti a kooperace mezi cestujícím a pracovníkem bezpečnostní kontroly může dojít v některých případech k nespokojenosti cestujícího, což se dále negativně projevuje na plynulosti průběhu bezpečnostní kontroly [1].

2.1.2 Požadavky na personál bezpečnostní kontroly

Pracovníci bezpečnostní kontroly musí projít výcvikem, který probíhá v souladu s předpisy Národního bezpečnostního programu ochrany civilního letectví České republiky, který byl vydán současně s leteckým předpisem L 17. Tento bezpečnostní výcvik může být prováděn jen zkušenými a vyškolenými instruktory, kteří mají platné osvědčení Ministerstva dopravy ČR ve smyslu zákona č.49/1997 Sb., o civilním letectví a prováděcího předpisu Vyhlášky Ministerstva dopravy č. 4100/2006 Sb. Požadavky těchto výcviků jsou rozděleny do několika oblastí:

- Vstupní bezpečnostní školení
- Základní bezpečnostní školení
- Integrované bezpečnostní školení
- Specializované bezpečnostní školení pro pozemní personál
- Aktualizační bezpečnostní školení

„Oblasti působnosti školení mohou být rozšířeny podle potřeb letecké bezpečnosti a vývoje techniky. Počáteční doba školení pro pracovníky detekční kontroly nesmí být kratší než doba doporučená Mezinárodní organizací pro civilní letectví (ICAO). Organizace, která školení provádí, po vzájemné dohodě s příjemcem školení mu určí rozsah na míru v souladu s jeho potřebami, požadavky a možnými ohroženími.“ [1]

Pro všechny nově nastupující pracovníky, kteří se ucházejí o vydání letištního identifikačního průkazu, je určeno vstupní bezpečnostní školení. Toto školení se vztahuje především k pracovníkům, se kterými je dohodnuta zkušební pracovní lhůta. Vstupní bezpečnostní školení může být nahrazeno integrovaným bezpečnostním školením. Platnost tohoto školení je maximálně 3 měsíce, což koresponduje s délkou zkušební pracovní lhůty a je nutno jej absolvovat do 3 dnů od zahájení pracovního poměru. Ihned po ukončení školení jsou pracovníci přezkoušeni ze znalostí. Samotné přezkoušení je v podobě písemného testu, které spolu se školením trvá přibližně 2 hodiny.

Pracovníci, kteří jsou již držiteli platného letištního identifikačního průkazu a nejsou povinni absolvovat specializované bezpečnostní školení, jsou povinni vykonat základní bezpečnostní školení. Je nutno jej vykonat před skončením platnosti vstupního školení, ovšem může být nahrazeno integrovaným bezpečnostním školením. Platnost tohoto školení je také po dobu maximálně 2 let. Délka školení spolu s přezkoušením trvá 4 hodiny.

Pro pracovníky, kteří opětovně nebo nově nastupují a není u nich pochyb o trvalosti jejich pracovního poměru nebo působení na letišti, je určeno integrované bezpečnostní školení. Tento typ školení je určen pro pracovníky, pro které byl určen základní kurz bezpečnostního školení. Pracovníci, kteří nově nastoupili, mají povinnost absolvovat integrované bezpečnostní školení maximálně do 3 dnů od zahájení pracovního poměru. Toto školení má platnost maximálně 2 roky. Přezkoušení je ve formě písemného testu a spolu se školením trvá 5 hodin.

Pro pracovníky bezpečnostní kontroly (kromě RTG kontroly), vedoucí směny bezpečnostní kontroly, ostražky letiště, pracovníky bezpečnostního managementu, vedoucí pracovišť, vedoucí směn ostražky letiště je určeno specializované bezpečnostní školení. Tito pracovníci jej musí absolvovat ještě před nástupem na specializované přiřazené pracoviště. Platnost tohoto školení se může lišit, v závislosti na pracovišti. Pracovníci bezpečnostní kontroly mají platnost školení maximálně 6 měsíců. Ostatní pracovníci mají platnost 12 nebo 24 kalendářních měsíců, a to podle typu pracoviště. Po ukončení školení jsou pracovníci přezkoušeni způsobem písemného testu, který má trvání spolu se školením minimálně 8 hodin.

V momentě, kdy pracovníkům, kteří již vykonali základní, integrované nebo specializované bezpečnostní školení, končí platnost průkazu, je nutné absolvovat rekvalifikaci ve formě aktualizací bezpečnostního školení. Platnost je shodná s typem

školení, které si pracovník nechává prodloužit. Přezkoušení probíhá formou testu, jako u daného typu školení v rozmezí 2 hodin, včetně školení. Výjimka je u pověřených auditorů, u kterých je délka školení s přezkoušením 4 hodiny [1].

2.2 Proces bezpečnostní kontroly cestujících a jejich zavazadel na letišti

Proces bezpečnostní kontroly cestujících a s tím související vstup do neveřejné části letiště je podmíněn kontrolou vstupu, kde by se do neveřejné části letiště neměla dostat osoba bez příslušného oprávnění. Toto je zajištěno platnou palubní vstupenkou a daným dokladem totožnosti. Pokud osoba projde tímto prvním kontrolním bodem, pokračuje k pracovníkovi bezpečnostní kontroly, jenž cestujícím předá informace o následujícím průběhu kontroly, a dále jim sdělí, jak mají při této bezpečnostní kontrole postupovat. Po sdělení informací cestujícím pak následuje bezpečnostní kontrola osob a jejich zavazadel. Legislativně může být samotná kontrola provedena jak ručně, tak automaticky za použití techniky, proto se může kontrola na různých letištích lišit [3] [4].

2.3 Prvky a přístroje používané při bezpečnostní kontrole cestujících na letišti

2.3.1 Bezpečnostní rentgeny

Kontrola osob rentgenovým detektorem je zcela bezkontaktní. Ačkoli mají lidé strach z velkého množství ozáření, je dávka při prozáření rentgenem pouze 2,5 μS , což odpovídá dvěma hodinám letu ve výšce 10 km. Tato kontrola slouží především k vyhledávání nebezpečných, nebo zakázaných látek skrytých v tělních dutinách. Pro vyhledání nebezpečných látek, či zbraní schovaných pod oděvem skenuje rentgen povrch osoby slabým rentgenovým paprskem, který způsobuje dávku ozáření pouze 0,5 μS . Kontrolovanou osobu je však nutné naskenovat zepředu i zezadu. Výhodou je však rychlost kontroly a žádný fyzický kontakt s pracovníky bezpečnostní kontroly. Systém kontroly zobrazí výsledky kontroly na monitor přibližně po 3 vteřinách. Tato kontrola je schopna odhalit plastické hmoty, kovové zbraně, či předměty velmi malých rozměrů.

U bezpečnostní kontroly se pro kontrolu příručních zavazadel a předmětů, které si kontrolované osoby odloží do předem připravených přepravek používají pásové rentgeny. Vyhodnocení rentgenového snímku je vykonáno obsluhou přístroje a zároveň automaticky na základě barevného rozlišení organických, anorganických a kovových materiálů. Detekce nebezpečných předmětů je však v případě automatického rozlišování s vysokou hustotou nepřesná [2].

„Pro detekci se používá jednořádkový polovodičový detektor. Protože zkoušený předmět se pohybuje konstantní rychlostí, počítač může z jednořádkového detektoru rekonstruovat celý obraz. Při normální rentgenové kontrole se používá černobílé zobrazení. U bezpečnostních rentgenů nejsou velké nároky na malá rozlišení, avšak výrazně musí být zobrazeny především plochy, kde je záření více absorbováno. Proto se používají i monitory barevné, různým úrovním šedi jsou přiřazeny barvy (pseudobarevné zobrazení).“ [2]



Obrázek 1: RTG zařízení [10]

2.3.2 Detektory kovu

Kovové předměty, jako jsou střelné nebo bodné zbraně (nože, nůžky apod.) a jiné nebezpečné předměty, které obsahují feromagnetické a paramagnetické látky, se u pasažérů zjišťují pomocí průchozích rámových detektorů.

Detektory kovu dělíme podle principu detekce:

1. Detekce feromagnetických látek (detekce na principu změn orientace magnetických domén)
2. detekce neferomagnetických kovů (detekce na principu indukce vířivých proudů)
3. detekce permanentních magnetů (detekce na principu relativního pohybu magnetu vůči cívce)

Detekce feromagnetických látek funguje na principu změn orientace magnetických domén, což je jev, který lze pozorovat u feromagnetických látek (železo, nikl, kobalt a jejich slitiny). Kolem jádra atomu feromagnetického prvku se pohybují elektrony, které zároveň vykonávají rotační pohyb kolem vlastní osy s momentem hybnosti. Součet těchto momentů hybností elektronů v atomu je poté nulový. Materiály s nulovým součtem momentů se nazývají diamagnetické a vlivem působení vnějšího magnetického pole jsou vystaveny protisměrnému momentu. Látky, které nemají výsledný moment hybnosti nulový, jsou feromagnetické nebo paramagnetické. V přítomnosti takového prvku v magnetickém poli dojde k jeho zesílení. Domény u feromagnetických látek jsou tedy oblasti souhlasného uspořádání momentů hybnosti. I při malé změně intenzity magnetického pole poté vlivem přítomnosti domén dochází k velkým odchylkám změny magnetizace. Za budícím signálem se tyto změny magnetizace opoždují a jsou detekovány přijímací cívkou detektoru kovu.

Detektory neferomagnetických kovů fungující na principu indukce vířivých proudů, způsobují časově proměnné elektromagnetické pole s magnetickou indukcí B . Dle zákona o indukci, je elektromagnetické pole vytvořeno v jakékoliv imaginární uzavřené vodivé smyčce elektrickým napětím. V nestálém magnetickém poli dochází k fyzikálnímu jevu elektromagnetická indukce. Proud, který protéká uzavřeným obvodem cívky, a jeho velikost, je závislý na ohmickém odporu celého obvodu. V objektech z kovových materiálů vzniká indukovaný proud, který je způsoben kruhovou trajektorií volných elektronů. Tento indukovaný proud je nazýván proudem vířivým. Elektromagnetické proudy, které vytváří výše zmíněné indukované proudy, jsou zjištělné detektorem kovu. Indukované napětí následně vyvolává indukční tok. Hodnota indukovaného napětí má přímou úměrnost s hodnotou indukčního toku, který prochází kovovým objektem. Zjištělnost kovového objektu má závislost na ploše objektu, jeho poloze v elektromagnetickém poli vůči siločarám indukovaného napětí, která je kolmá na siločáry indukčního toku. Schopnost detekovat takový kovový objekt, je tedy ovlivněna jeho polohou.

Významnou magnetizací disponuje většina feromagnetických látek, nazývají se tedy feromagneticky tvrdé. Magnety, které jsou permanentní, mají vlastní magnetické pole. Pokud jsou elektricky nevodivé, tak v buzeném elektromagnetickém poli detekčního rámu nedojde k žádné měřitelné odezvě. Při pohybu permanentního magnetu v elektromagnetickém poli dojde k indukci detekovatelného napětí.

„Prakticky však nedochází při detekci kovu k jednomu konkrétnímu, výše uvedenému jevu, ale k jejich kombinacím. A právě kombinací popsaných principů dochází k detekci kovového prvku detekčním rámem.”[1]

Při zjištění kovového předmětu průchozí rámový detektor vydá zvukový a optický signál. U novějších detektorů se na rámu rozsvítí specifická oblast, kde se kovový předmět nachází, což napomáhá personálu bezpečnostní kontroly při výkonu jejich práce. Přístroj se dá nastavit na vyšší citlivost, kdy jsou zjistitelné i elektrické zdroje roznětných částí explozivních systémů. Při nastavení takové citlivosti však stoupá míra falešných poplachů, které jsou vyvolány kovovými částmi na oděvu a drobnými kovovými předměty v kapsách.

Proto se používají ruční detektory, které se použijí v případě pozitivního výsledku u rámového detektoru. Obsluha ručního detektoru dále díky ručnímu detektoru přesně dohledá a identifikuje daný kovový předmět. Princip fungování ručních detektorů je tedy stejný jako u rámových detektorů [1].



Obrázek 2: Ruční detektor kovů společnosti PCS spol. s.r.o [10]



Obrázek 3: Průchozí rámový detektor [10]

2.3.3 Osobní prohlídka

Tato metoda zvyšuje spolehlivost bezpečnostní kontroly, jelikož je zde možno odhalit nebezpečné předměty vyrobené z nekovových materiálů jako keramické nebo kompozitní nástroje. Pro zvýšení bezpečnosti se tato prohlídka provádí náhodně. Dalo by se tedy hovořit o preventivním opatření, kdy se náhodná osoba procházející bezpečnostním rámem, tedy i v případě, kdy rámová kontrola není pozitivní, vystaví osobní prohlídce, kterou provede kvalifikovaný pracovník. Za osobní prohlídku se považuje kontrola vložených předmětů, vnitřního prostoru příručních zavazadel a jejich obsahu pro zjištění výskytu nebezpečných předmětů a látek [1].

2.3.4 Detektory výbušnin

Pro detekování výbušných látek, které jsou v klasických průchozích rámových detektorech nezjistitelné, se používá detektorů, jenž fungují na principu odběru vzorků nasáváním par z okolí osoby nebo zavazadla. Mezi další metody detekce výbušnin patří stěry daného povrchu, které jsou důležité hlavně u detekce plastických trhavin, jelikož jejich typické výbušné složky (látky pentrit a hexogen) mají i při běžných teplotách minimální tenzi par, tudíž u studených zavazadel jsou nasávací metodou téměř nezjistitelné. Od schválení Montrealských dohod v roce 1998 musí být všechny plastické a gelové výbušniny obohaceny o látky, které se vyznačují vysokou tenzí par. Jako nejčastější detektor stopových prvků lze považovat spektrometrii pohyblivosti iontů, avšak ty mají problém s odhalováním obohacených látek, protože pohyblivost jejich iontů není výrazná.

Detektory těchto látek jsou schopny mikroskopické části výbušniny odhalit a vyhodnotit. Tyto přístroje jsou většinou přenosné. Detektory jsou používány podle druhu zpracování vzorku, a to detektory fungující na principu analýzy par, nebo analýzy částic. Možné je využití i jejich kombinace. U konstrukce dnes vyráběných detektorů se používá mikroprocesor, který disponuje širokou databází hledaných látek. Při rozboru látky se používají fyzikální i chemické metody analýzy. Zjištěné výsledky jsou následně porovnány s databází látek, které jsou uloženy v paměti. Při analýze částic se používá 28 filtrů, které jsou umístěny ve vysavači, který nasávané látky zachytává na těchto filtrech, které reagují barevnou odezvou. Nejúčinnější je využití kombinace stěru povrchu a nasávání par. Vzduch, který je nasáván obsahuje prach z povrchu. Tento prach obsahuje hledané částice a páry. Aby se zvýšila účinnost této detekce, tak se používá tepelný zářič, který povrch kontrolovaného tělesa zahřeje na přibližně 67 °C.

V praxi je používána i detekce mokrou cestou, která funguje na principu chemické reakce. Prach na povrchu kontrolovaného tělesa se sejme filtračním papírem nebo lepicí páskou. Následné vyhodnocení nebezpečných částic probíhá v podobě porovnání zbarvení papíru, či pásky se vzorkovníkem.

Pro kontrolu osob se používají také průchozí kabinkové detektory stopových částic, které odebírají vzorky automaticky. Uvnitř kabinkového detektoru ofukuje teplý proud vzduchu kontrolovanou osobu. Proud vzduchu je poté nasáván a vyhodnocen přístrojem. Využívá se také přirozené proudění par kolem lidského těla vzhůru. Tyto kabinky bývají vybaveny i detektorem kovů.

Dalším z účinných elementů obrany proti pronesení nebezpečných výbušnin do neveřejných prostor letiště jsou kvalifikovaní psovodi. Jejich speciálně vycvičení psi pracují na základě čichových schopností. Molekuly, které se odpařují z těkavých výbušných látek vzlínají směrem vzhůru. Pes je následně schopen přesně označit pozici nebezpečné látky [2] [3].

2.3.5 Detektory radioaktivních látek

Jelikož jsou radioaktivní látky zdrojem silného a pronikavého radioaktivního záření, bývají tyto látky lehce detekovatelné na základě dosud známých principů. Tyto detektory se musí umisťovat ve větší vzdálenosti od bezpečnostních rentgenů, protože pokud rentgenem prochází kontrolované zavazadlo, které by obsahovalo velké množství materiálu s nízkým

protonovým číslem (voda apod.), můžou detektory radioaktivních materiálů vyvolávat falešné poplachy, jelikož jsou tyto materiály zdrojem rentgenového Comptonova záření, které má rozptýl do všech stran. Falešný poplach můžou spustit také osoby, které v nedávné době před bezpečnostní prohlídkou byly na lékařském vyšetření využívající radioizotopy.

„Radioaktivní látky nejsou zjistitelné lidskými smysly a musí být zjišťovány objektivními prostředky detekce. Nejstarším principem detekce je zčernání fotografické emulze. Tento princip využíváme v osobní dozimetrii. Předmětem dozimetrie je sledování radiační energie, přenesené na prostředí, kterým záření prochází. Podle změn vyvolaných v prostředí se předpokládá množství energie vyzářené ze zdroje, nebo množství energie pohlcené v prostředí. Radiační změny mohou být různé povahy: fyzikální, chemické a biologické. Běžně užívaným a levným prostředkem osobní dozimetrie je filmový dosimetr, který dává spolehlivé výsledky v expozici beta, gama a X záření. Skládá se z filmu citlivého na ionizující záření, který je uzavřen v krabici z umělé hmoty. Uvnitř krabice je několik filtrů z různě silného měděného a olověného plechu, které slouží pro detekci záření různého druhu a energie.”[2]

Mezi nejvýznamnější detektory radioaktivního záření patří Geiger–Müllerova trubice, která pracuje na principu napěťové zóny nárazové ionizace, díky čemuž je dosaženo zesílení až 103-108 násobku původního ionizačního efektu způsobeného radiací. Díky tomuto zesílení je nám umožněno počítání jednotlivých ionizujících částic, nebo kvant. Geiger-Müllerova trubice je naplněna vhodným plynem, což nejčastěji bývá inertní plyn (helium, argon). Když ionizující částice vnikne do prostředí inertního plynu, dojde k interakci s molekulou plynu, kde je výsledkem interakce kladný iont a volný elektron. Katoda je tvořena pláštěm trubice a anoda je vodič umístěný v ose trubice a v případě velmi silného pole elektrického pole trubice, vznikají lavinovité výboje a elektrický proud protéká trubici, pokud je inertní plyn ionizován částicemi. Tento výboj je nutno nějakým způsobem vypnout, což bývá provedeno elektronickým obvodem, nebo přidáním plynu se samozhášejícími vlastnostmi. Jedná se nejčastěji o plyn halogen. Množství nových výbojů a zhasnutí má přímou úměrnost s počtem částic, které vnikají do trubice.

Termoluminiscence je detekce založená na akumulaci energie vyvolané ionizujícím zářením, kterou absorbují některé anorganické krystaly (např. LiF nebo aluminofosfátové sklo). Při zahřátí krystalu do teplot v rozmezí 300–400 stupňů Celsia, je jejich akumulovaná energie vyzařována formou viditelného světla, které je úměrné energii záření [2].

„Scintilační detektory obsahují scintilátor, který při absorpci rentgenového nebo gama záření vysílá záblesky viditelného světla. Světelné fotony jsou pak přeměněny na tok

elektronů v zařízení zvaném fotonásobič, na jehož výstupu registrujeme elektrický impuls. Tyto impulsy jsou dále tvarovány v předzesilovači, zesíleny v zesilovači, tříděny v analyzátoru impulsů, a nakonec registrovány v čítači. Počet impulsů zaregistrovaných za jednotku času označujeme jako registrovanou četnost.“ [2].

2.3.6 Milivize

Milivize pracuje na principu zobrazování elektromagnetických vln, které můžou pocházet z lidského těla ve formě tepelného sálání. Stroj pracuje ve vlnových dílkách na rozhraní infračerveného záření a rádiových vln. V praxi funguje tato kontrola tak, že se kontrolovaná osoba postaví před kamerovou část, a následný obraz se pořídí zepředu a poté zezadu.

Je ale i možné provedení milivize jako pozorovací a monitorovací kamery umístěné na motorické hlavě pro kontrolu osob pohybujících se ve vzdálenosti až 30 m, například v prostorách letiště. Toto provedení se může použít i pro prohlídku prakticky plynule za sebou jdoucích osob. Propustnost je až 60 osob za minutu, ale spolehlivost prohlídky je pak menší.

Kovové zbraně, které jsou menších rozměrů se špatně rozlišují od různých součástí oděvů a obuvi. Z hlediska ohrožení cestujících a posádky je však nepravděpodobné, aby pomocí těchto zbraní bylo možné ohrozit let [2][3].

3 Simulace a simulační software Witness

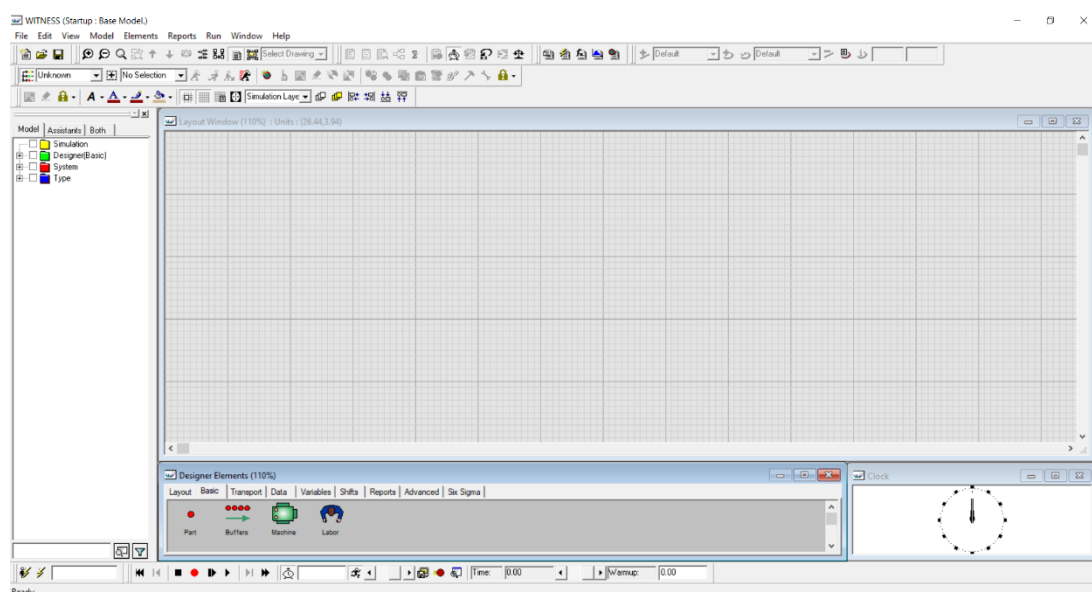
Tato kapitola byla zpracována pomocí zdrojů [5] [6] [7].

3.1 Software Witness

Witness je software britské společnosti Lanner Group Ltd., který umožňuje dynamické simulace a optimalizace výrobních, obslužných a logistických procesů. Díky jeho flexibilitě a výkonosti nachází software uplatnění ve zdravotnictví, letectví a různých odvětvích průmyslu, kde pomáhá např. zlepšit produktivitu nebo zefektivnit plánování zdrojů [5].

3.2 Uživatelské prostředí

Níže uvedený Obrázek 6 znázorňuje pracovní plochu software Witness po jeho otevření. V horní části okna je umístěno klasické menu. V tomto menu se nachází základní příkazy, které umožňují ukládání, změny nastavení modelu nebo přidání panelu nástrojů. Na horní liště se nachází *Window*, kde se nachází rozvržení simulačních oken, které zobrazují „simulační prostor“, tedy prostor, ve kterém jsou prvky modelu zobrazeny. Simulační prostor je největší plocha programu a nachází se uprostřed. Pod horní lištou jsou umístěny panely nástrojů. Tyto panely nástrojů je možné upravit v závislosti na potřebách uživatele při tvorbě modelu. Díky přehlednému zobrazení ikon pro ovládání a nastavení modelu, urychlují tyto panely práci při tvorbě modelu.














Obrázek 4: Pracovní plocha software Witness

V levé části plochy se nachází *Element selector*, ve kterém jsou při otevření složky *Simulation* zobrazeny prvky použité v modelu. Ve spodní části programu se nachází lišta *Designer Elements*, kde jsou zobrazeny definované prvky, odkud je následně vybíráme při tvorbě modelu. Vlevo od této lišty se nacházejí analogové hodiny, které zobrazují uběhnutý čas v modelu. Pod těmito dvěma lištami je panel *Run*, který je určen pro ovládání simulačního modelu [5] [6].

3.3 Prvky simulačního softwaru

V obchodních nebo průmyslových procesech se vyskytují různé stroje, vozidla, dopravníky, další vybavení a osoby. Aby bylo možné tyto prvky co nejpřesněji nasimulovat, používá simulační software Witness prvky, které jim svými vlastnostmi odpovídají. Základní prvky používané při tvorbě simulací jsou popsány v Tabulce 1. [5] [6].

Tabulka 1: Prvky simulačního software Witness [7]

Označení prvku	Název prvku	Funkce prvku	Ikona prvku
Part	<i>Součást</i>	Představují diskrétní prvky, které se pohybují modelem.	
Buffers	<i>Zásobník</i>	Místo, kde je <i>součást</i> zadržována (fronta, sklad)	
Machine	<i>Stroj</i>	Zpracovávají <i>součásti</i>	
Labor	<i>Pracovník</i>	Představuje lidský nebo fyzický zdroj, který obsluhuje <i>stroj</i>	
Shift	<i>Směna</i>	Definuje pracovní směnu <i>pracovníka, součásti</i> či <i>stroje</i>	
Vinteger	<i>Celočíselná proměnná</i>	Zobrazuje celočíselnou proměnnou	
Vreal	<i>Reálná proměnná</i>	Zobrazuje reálnou proměnnou	
Iattr	<i>Celočíselný atribut</i>	Přiřazuje součásti atribut ve formě celého čísla	
Rattr	<i>Reálný atribut</i>	Přiřazuje součásti atribut ve formě reálného čísla	
Function	<i>Funkce</i>	Definuje vlastní funkci	
Pie	<i>Koláčový graf</i>	Zobrazuje výstupní hodnoty ve formě koláčového grafu	

3.3.1 Součást

V uvedeném Obrázku 7 je zobrazeno okno, kde je základní nastavení součásti vložené do modelu. V části *Name* se definuje název součásti, který musí být jedinečný, bez mezer a diakritiky. V okně *Type* je nastavován typ součásti, který nabízí 3 možnosti. Jedná se o součásti pasivní, aktivní a aktivní s profilem. Pokud je součást pasivní, tak je pořádkem k dispozici a v modelu je přemísťována ostatními prvky z „nekonečného“ skladu. Aktivní součást vstupuje do modelu sama na předem zvoleném časovém intervalu mezi příchody.

Aktivní součást s profilem má stejné charakteristiky jako aktivní součást, s tím rozdílem, že nastavujeme příchody součástí pomocí vstupního profilu, kde se stanoví počet vstupujících součástí v jednotlivých časových intervalech.

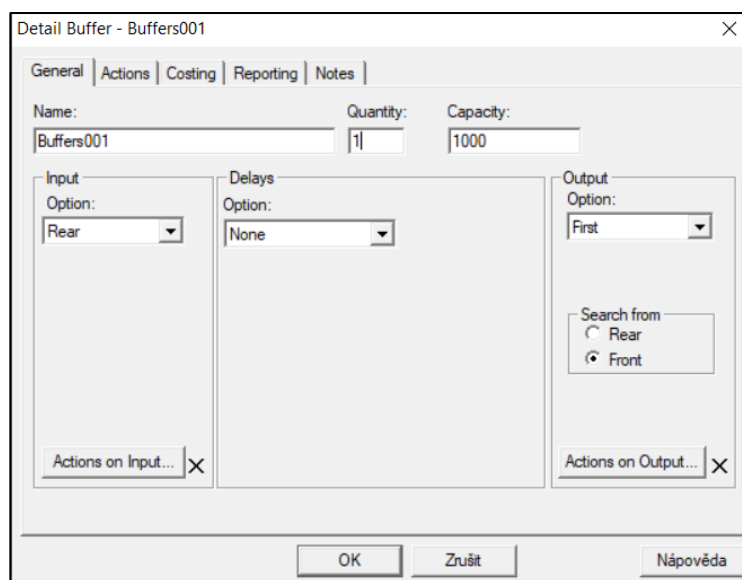
Obrázek 5: Základní nastavení součásti

V okně *Maximum Arrivals* se nastavuje omezení pro počet součástí vstupujících do daného simulačního běhu. V okně níže *First Arrival At*, se definuje čas vstupu první součásti do modelu. Funkce *Shift* přiřazuje směnu vstupující součásti. Okno *Inter Arrival Time* definuje časovou mezeru mezi příchody součástí. V okně *Lot Size* se definuje počet součástí, které vstupují zároveň. *To* definuje výstupní pravidla součásti, které řídí vstup součásti do modelu. Definování akcí při vytvoření součásti a při výstupu z modelu je umožněno okny *Actions on Create* a *Actions on Leave*, kde se např. provádějí výpočty, aktualizace dat v grafu [5] [6].

3.3.2 Zásobník

Základní nastavení zásobníku představuje Obrázek 8. Název zásobníku *Name* se definuje stejně jako u součásti. *Quantity* definuje celkovou kvantitu zásobníku, čímž se nastavuje násobnost zásobníků. V praxi to znamená, že udává počet stejných zásobníků, které jsou umístěny paralelně vedle sebe. Definování kapacity zásobníku je umožněno oknem *Capacity*, což umožňuje definovat maximální počet součástí, které se mohou nacházet současně v zásobníku. V okně *Input* se volí místo vstupu součásti do zásobníku. Okno *Delays* definuje čas, na jaký se součást v zásobníku zdrží. Může být nastaveno i žádné

zdržení. Oknem *Input* definujeme pozici, odkud budou součásti opouštět zásobník vybírány. Stejně jako u součásti se u zásobníku nastavují akce na vstupu do zásobníku *Actions on Input* a akce na výstupu ze zásobníku *Actions on Output*, čímž se definují akce, které zajišťují výpočty nebo aktualizace dat v grafu [5] [6].



Obrázek 6: Základní nastavení zásobníku

3.3.3 Stroj

Obrázek 9 znázorňuje základní nastavení Stroje. Část *Name* slouží k nastavení názvu stroje. Stejně jako u předchozího prvku se nastavuje kvantita pomocí *Quantity*. *Priority* umožňuje přiřadit danému stroji prioritu. Pokud při obsluze více strojů jedním pracovníkem vznikne více požadavků na obsluhu, dá pracovník přednost stroji s vyšší prioritou. Nejvyšší priorita je 1 a nejnižší priorita je rovna 0 (*Lowest*).

Nastavení typu stroje se provádí v okénku *Type*, z nichž nejdůležitějšími typy jsou:

- Jednoduchý stroj (*Single*) - tímto strojem prochází pouze 1 součást, tedy 1 součást do stroje vstupuje a poté vystupuje,
- Dávkový stroj (*Batch*) - součásti jsou zpracovávány po dávkách, kde musíme přesně nadefinovat minimální a maximální velikost,
- Montážní stroj (*Assembly*) - do stroje vstupuje daný počet n součástí, které stroj zpracuje do 1 výstupní součásti,
- Produkční stroj (*Production*) - tento typ funguje na opačném principu jako montážní stroj, kdy do stroje vstupuje 1 součást, která je ve stroji zpracována na n součástí,

- Obecný stroj (*General*) – na vstupu je daný počet n součástí a na výstupu počet m součástí,
- Násobná stanice (*Multiple station*) – do stroje vstupuje daný počet n součástí, které jsou zpracovávány v několika na sebe navazujících cyklech nezávisle na sobě a následně posílány ze stroje.

Obrázek 7: Základní nastavení stroje

V části *Input - Quantity* je nastavován počet součástí vstupujících do stroje. Jednoduchý stroj má hodnotu 1. To samé platí i pro *Output - Quantity*, kde se ovšem nastavuje počet součástí na výstupu ze stroje. V části *Duration - Cycle Time* se nastavuje doba, jakou bude trvat zpracování součástí. Tato doba může být vyjádřena konstantou, nebo náhodnou proměnnou.

U stroje se nastavují ještě vstupní pravidla v části *From...*, kde se pomocí tohoto pravidla definuje druh a počet součástí, které vstupují do stroje. V okně *Labor Rule...* se stroji může přiřadit daný pracovník. Výstupní pravidla je možno nastavit v okně *To...*, kde je určován následný tok součástí po zpracování strojem.

Okno *Actions on Input...* slouží k definování akcí v momentě vstupu součástí do stroje. *Actions on Start...* definuje akce, které se uskuteční na začátku procesu zpracování strojem, a naproti tomu *Actions on Finish...* definuje akce při ukončení zpracování součástí ve stroji. V posledním okně *Actions on Output...* se upravují akce na výstupu součástí ze stroje [5] [6].

3.4 Základní vstupní, výstupní pravidla a funkce

Pro zajištění správného fungování simulačního modelu je využíváno několika pravidel, které se nastavují u jednotlivých prvků. Každý prvek má při vytvoření nastaveno výchozí pravidlo *WAIT*, což definuje pasivní čekání prvku. Pravidlo *BUFFER()* funguje podobně jako *WAIT*, s tím rozdílem, že je nastaven fiktivní zásobník s kapacitou zapsanou v závorce. *PULL* je aktivní vstupní pravidlo zajišťující vytáhnutí součásti z jiného prvku. Aktivní pravidlo *PUSH* je výstupní pravidlo, které definuje prvek, do kterého součást putuje. V případě potřeby rozdělení toku součástí podle určitého poměru lze použít pravidlo *PERCENT*.

Funkcí *NPARTS* je možné stanovit počet součástí, které se nacházejí v určitém momentu v daném prvku. Funkce disponuje pouze jedním parametrem, kterým je název prvku. Podobnou funkcí je *NPARTS2*, která na rozdíl od předchozí funkce obsahuje 3 parametry. Prvním je název prvku, další parametr udává název součásti, jejichž počet stanovujeme. Poslední parametr je používán pouze u strojů a je vyjádřen 4 hodnotami. Celý stroj včetně zásobníku je definován hodnotou 0, samotný stroj 1, vstupní zásobník 2 a výstupní zásobník 3. Funkce *APARTS* definuje průměrný počet součástí, které se nacházejí v určitém prvku. Tato funkce má pouze jeden parametr, kterým je stejně jako u *NPARTS* název prvku. *ATIME* umožňuje stanovit čas, který součásti průměrně strávily v daném prvku. Funkcí *ATIME2* je možné zjistit průměrný čas, které součásti strávily v modelu.

Zjištění počtu součástí, které mají stejný název je zajištěno funkcí *NCREATE*. Pomocí funkce *NSHIP* je možno zjistit počet součástí, které byly odeslány z modelu *SHIP*. Počet součástí, které byly na vstupu do modelu odmítnuty je zjištěn funkcí *NREJECT*. Funkcí *SUTIL* je možné zjistit procentuální podíl celkového simulačního času prvku pro určitý stav (pracuje, nepracuje, blokováno atd.). Funkce má dva parametry. Prvním parametrem je název prvku a druhým parametrem je číselný index stavu daného prvku. Číselný index 1 udává, kolik procent stroj nepracuje, 2 udává vytížení stroje a 3 znamená kolik procent času je stroj blokován. Funkcí *NOPS* je možné zjistit kolik součástí prošlo daným strojem. Funkce má pouze jeden parametr, a tím je název prvku [5] [6].

3.5 Generování pseudonáhodných čísel

Pokud při simulaci není známo přesných hodnot, je možno použít vygenerování náhodných hodnot pravděpodobnostním rozdělením. Každé takové rozdělení má povinné

parametry, které určují dané rozdělení, a nepovinné parametry, které se vztahují na proudy pseudonáhodných čísel.

Pro generování hodnot exponenciálním rozdělením se používá funkce *NEGEXP*. Jako u předchozí funkce je zde jeden parametr a tím je střední hodnota EX , kde platí $EX = 1/\lambda$. Funkce *NORMAL* generuje hodnoty normálním pravděpodobnostním rozdělením s dvěma parametry a to střední hodnotou rozdělení μ a směrodatnou odchylkou σ . V softwaru Witness je ještě jedno normální rozdělení, a to *TNORMAL*, které má povinné parametry 4, kde první 2 parametry jsou stejné jako u normálního rozdělení. 3. parametr je minimální hodnota rozdělení a 4. parametr určuje maximální hodnotu rozdělení [5] [6].

3.6 Spolupráce s MS Excel

V případě potřeby načtení hodnot umožňuje Witness čtení hodnot z programu MS Excel. Pro načítání se používá funkce „*XLReadArray*“. Tato funkce je definována celkem 5 parametry, z nichž se první tři zapisují s uvozovkami. Prvním parametrem je název souboru MS Excel, z kterého jsou data načítány. Název musí být zapsán s příponou (.xls nebo .xlsx). Dále se definuje jméno listu souboru a odkaz na buňku. Čtvrtý parametr je název proměnné, který je již definován v simulačním modelu a bude do něj načítána hodnota. Na pozici posledního parametru se píše vždy 1.

Funkce „*XLWriteArray*“ slouží k zápisu hodnot do MS Excel. Parametry této funkce jsou stejné, jako u předchozí funkce. Aby se při odkazu na buňku zabránilo přepisování hodnot, je nutné definovat celočíselnou proměnnou. Tato proměnná se v praxi označuje jako „*Radek*“. V prvním řádku je načítána aktuální hodnota řádku. V dalším řádku probíhá zápis žádané hodnoty. Třetí řádek zajišťuje, že se hodnota proměnné „*Radek*“ navýší o 1. V posledním řádku probíhá obnovení dané hodnoty v Excelu, což se projeví u dalšího načtení, které pracuje s již navýšenou hodnotou [5] [6].

3.7 Naměření hodnot na letišti a průběh bezpečnostní kontroly

Doba, kterou cestující stráví u bezpečnostní kontroly na letišti, je čistě náhodná. Časový interval cestujícího u bezpečnostní kontroly ovlivňuje několik faktorů – zkušenosti personálu, vybavení pracoviště bezpečnostní kontroly, roční období, druhu letu a dalších.

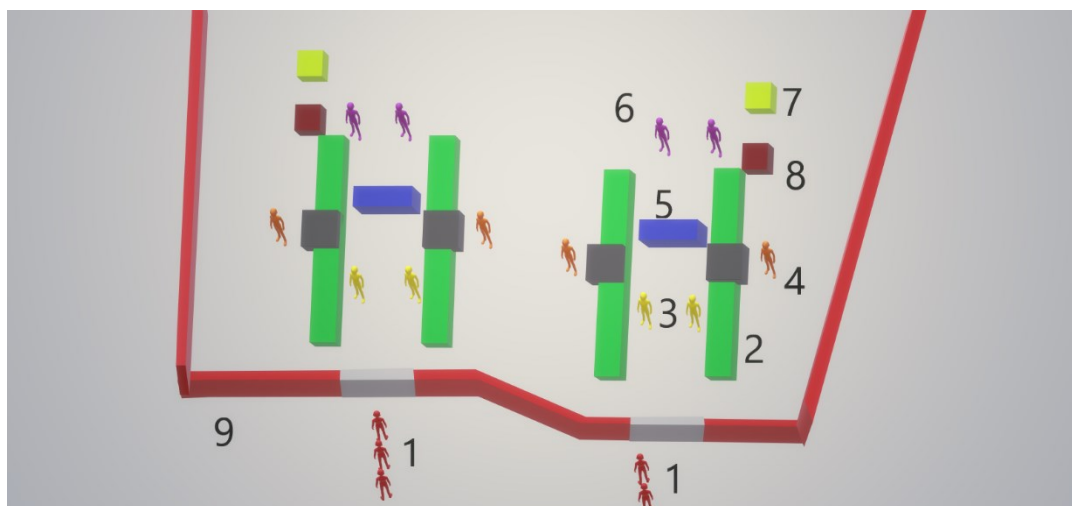
Doba průběhu bezpečnostní kontroly je tedy interval, který začíná odložením nadbytečného ošacení a předmětů cestujícího do předem připravené přepravky, kdy mu

zároveň pomáhá vyškolený pracovník, a končí v okamžiku, kdy si cestující převezme své věci zpět. Pro vizualizaci kontroly bylo vytvořeno schéma, které je zobrazeno na Obrázku 10. Pro lepší orientaci jsou osoby a jednotlivé prvky kontroly zvýrazněny různými barvami.

Měření probíhalo 5. 3. 2020 na letišti Leoše Janáčka Ostrava na letu číslo FR2369 společnosti Ryan Air – pravidelná linka Mošnov – Londýn. Tento let je uskutečňován letounem Boeing 737 - 8AS. U tohoto letu byla naplněna jeho kapacita, a proto celkový počet cestujících čítal 174. Z důvodu, že se jednalo o jediný let v tento den, bylo otevřeno pouze jedno stanoviště bezpečnostní kontroly. Letoun měl naplánovaný odlet v 17:55 a stanoviště bezpečnostní kontroly se otevřelo o dvě hodiny dříve v 15:55. Během celé bezpečnostní kontroly se podařilo naměřit časové intervaly u 88 cestujících z celkových 174.

Samotné měření prováděli dva měřiči rozmístění vedle pásového dopravníku č. 2, odkud byl nejlepší přehled o cestujících a jejich procesu kontroly. První cestující se dostavil ihned po otevření stanoviště bezpečnostní kontroly, avšak se zároveň jednalo o cestujícího s nejdelším trváním kontroly s hodnotou 15'59'', kvůli opakovaným pozitivním výsledkům detektoru výbušnin. U této kontroly byly nuceny se dostavit ozbrojené složky Policie ČR kvůli podezření na výskyt výbušnin u cestujícího a jeho zavazadla. Po osobním prohledání a kontrole zavazadla byl cestující vyhodnocen jako vyhovující a byl mu dovolen let. Po této kontrole se u vstupu bezpečnostní kontroly vytvořila fronta a cestující přicházeli postupně ke kontrole přibližně dalších 55 minut. Během kontroly byly naměřeny i dvě těhotné ženy, v jejichž případě se postupuje tak, že ač není průchod rámovým detektorem nijak nebezpečný, má žena na výběr, jestli chce rámovým detektorem projít, nebo ne. Jedna žena zvolila kontrolu bez rámového detektoru, a proto u ní bylo zvoleno osobní prohledání, kontrola obuvi a kontrola proti výbušninám.

Po těchto 45 minutách pohyb cestujících k bezpečnostní kontrole ustal, a následujících 5 minut se k bezpečnostní kontrole nikdo nedostavil. Po této krátké odmlce se začala opět tvořit fronta a cestující přicházeli následujících 50 minut. Po této době už cestující nechodili a bezpečnostní kontrola uzavřela bezpečnostní dveře.



Obrázek 8: Schéma stanoviště bezpečnostní kontroly

Stanoviště bezpečnostní kontroly je tvořeno bezpečnostní zábranou (9), která odděluje veřejnou a neveřejnou část letiště. Jediná možnost, jak se tedy dostat do neveřejné části letiště a k bezpečnostní kontrole, je projít průchodem, který je v běžném případě uzavřen posuvnými dveřmi. V případě odbavení k letu a s tím související bezpečnostní kontroly se před tímto průchodem tvoří řada cestujících (1), kteří jsou vyzváni k dalšímu postupu vyškoleným personálem (3), který jim dále dá instrukce a pomůže jim při bezpečnostní kontrole. Za pomoci personálu (3) cestující odloží své ošacení a věci do přepravek, které putují pásovým dopravníkem (2) ke kontrole bezpečnostním rentgenem. Tento rentgen obsluhuje vyškolený personál (4), který na obrazovce sleduje výsledný obraz. V případě pozitivního výsledku je zavazadlo, nebo předmět podroben prohlídání jedním z pracovníků na výstupu (6). Cestující dále pokračuje skrz bezpečnostní rám (5). V případě, že se bezpečnostní rám rozsvítí v dolní oblasti, je cestující podroben kontrole obuvi (7). Při rozsvícení jiné oblasti je cestující vystaven osobní prohlídce, kterou vykoná personál (6). Pokud rámový detektor vydá zvukový signál, je cestující podroben náhodné kontrole na výbušniny (8). Jestliže se u cestujícího neprokáže nic z výše uvedených prvků, jedná se o normální prohlídku. Po absolvování bezpečnostní kontroly pokračuje cestující do odletové haly a tím končí jeho bezpečnostní kontrola. Všechny naměřené hodnoty jsou zobrazeny v Tabulce 2.

Tabulka 2: Naměřené hodnoty na letišti Ostrava-Mošnov

Typ kontroly	Měření	Čas [s]	Měření	Čas [s]	Měření	Čas [s]
Normální kontrola	1	74	21	61	41	170
	2	88	22	133	42	80
	3	32	23	58	43	40
	4	45	24	165	44	50
	5	75	25	111	45	97
	6	101	26	124	46	103
	7	71	27	40	47	80
	8	87	28	54	48	113
	9	45	29	86	49	106
	10	30	30	53	50	65
	11	41	31	82	51	106
	12	169	32	118	52	66
	13	109	33	73	53	160
	14	69	34	189	54	100
	15	129	35	160	55	136
	16	94	36	50	56	58
	17	230	37	130	57	110
	18	97	38	182	58	290
	19	58	39	105	59	167
	20	92	40	85		
Kontrola výbušnin	1	236	5	200	9	124
	2	167	6	158	10	95
	3	264	7	56	11	90
	4	109	8	150		
Kontrola obuvi	1	76	3	187	5	185
	2	132	4	139	6	206
Kontrola zavazadla	1	135				
	2	282				
Kontrola obuvi a výbušnin	1	120				
	2	140				
	3	156				
Kontrola zavazadla a výbušnin	1	210				
	2	181				
	3	119				
Osobní kontrola a kontrola zavazadla	1	89				
Kontrola zavazadla a obuvi	1	191				
Kontrola zavazadla, obuvi a výbušnin	1	959				
Osobní kontrola, kontrola obuvi a výbušnin	1	274				

4 Statistika

Tato kapitola se bude věnovat zjišťování vlastností dat, které byly naměřeny na letišti Ostrava – Mošnov. Získané vlastnosti budou potřebné pro simulaci bezpečnostní kontroly.

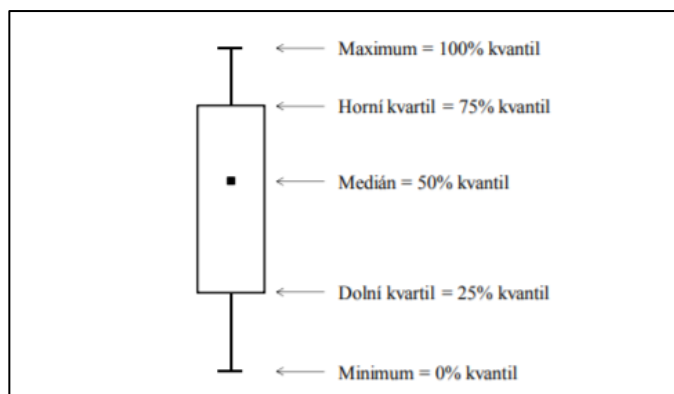
Data, která byla naměřená a popisují trvání bezpečnostní kontroly, se nazývají statistický soubor. Množství všech naměřených prvků se nazývá rozsah souboru. Času, který cestující stráví u bezpečnostní kontroly, se jakožto pozorovanému údaji říká proměnná. Hodnoty, kterých tato proměnná bude nabývat, se nazývají varianty proměnné. Proměnné se dále dělí na kvalitativní a kvantitativní. V případě, že jsou varianty proměnné vyjádřeny slovně, se jedná o kvalitativní proměnné. V druhém případě se může jednat o číselné vyjádření varianty proměnné, což je i případ naměřených hodnot u bezpečnostní kontroly. Podle velikosti rozsahu výběru je rozlišován výběr malého rozsahu, u kterého je počet hodnot menší než 30. Velký rozsah výběru je charakterizován počtem hodnot rovno, nebo větším 30. V této práci se se počítá s rozsahy jak malého, tak velkého rozsahu [8] [9].

4.1 Výběrová charakteristika

Znázornění naměřených dat lze docílit několika číselnými charakteristikami. Pro simulaci bezpečnostní kontroly jsou použity vybrané míry polohy, které stanovují typickou hodnotu výběrového souboru. Základními mírami polohy jsou výběrový průměr, modus, medián a výběrové kvantily. Dalšími charakteristikami jsou míry variability, které určují rozptyl hodnot kolem typické hodnoty souboru. Mezi ně se řadí výběrový rozptyl, výběrová směrodatná odchylka a variační rozpětí. Výpočty těchto charakteristik budou prováděny definovanými funkcemi v programu MS Excel. Tyto charakteristiky budou popsány dále v této kapitole.

Výběrový průměr je možné stanovit aritmetickým průměrem všech naměřených hodnot a v programu Excel je vypočítán funkcí **Průměr**. Varianta proměnné, která se ve výběrovém souboru nejčastěji vyskytuje, se nazývá modus. V Excelu je možné jej spočítat pomocí funkce **Mode**. Hodnota, která rozděluje výběrový soubor na dvě části, se nazývá kvantil. Jedna část znázorňuje hodnoty, které jsou menší než daný kvantil. Hodnoty, které jsou rovny nebo větší než daný kvantil, se nachází v druhé části. Mezi nejčastěji používané kvantily se řadí kvartily, které výběrový soubor rozdělují na 4 části. Vypočítání kvartilů v excelu se provádí funkcí **Quartil**. Medián je kvantil, který rozděluje statistický soubor na dvě části, které mají stejný počet prvků. Pro výpočet mediánu se v excelu používá funkce **Median**.

Jako vhodný nástroj pro vizuální zobrazení se používá krabicový graf tzv. Box-plot. Popis krabicového grafu je zobrazen na Obrázku 11.



Obrázek 9: Popis krabicového grafu

Pro stanovení výběrového rozptylu se používá v Excelu funkce **Var**. Směrodatná výběrová odchylka je vypočítána funkcí **Smodch.výběr**. Obě tyto charakteristiky znázorňují rozptýlenost hodnot kolem průměru, přičemž je směrodatná odchylka odmocninou rozptylu. Variační rozpětí je možné spočítat odečtením minimální varianty proměnné V_{min} od maximální varianty proměnné V_{max} [8] [9].

Jako vhodný nástroj pro vizuální zobrazení naměřených dat se také používá histogram četností, což je typ sloupcového grafu. V tomto případě histogram četností znázorňuje na vodorovné ose časové intervaly doby trvání bezpečnostní kontroly cestujících. Na svislé ose jsou uvedeny absolutní četnosti, tedy počty cestujících, jejichž čas v bezpečnostní kontrole se nachází v uvedeném intervalu na vodorovné ose. Aby bylo možné histogram četností vytvořit, je nutné rozdělit statistický soubor do tříd. Toto rozdělení je možné stanovit **Sturgesovým pravidlem**, které stanoví počet tříd k následujícím vzorcem:

$$k \approx 1 + 3,3 * \log n.$$

Dále je třeba určit šířku třídy h a to je provedeno vzorcem:

$$h = \frac{V_{max} - V_{min}}{k}.$$

4.2 Zpracování statistického souboru

Číselné charakteristiky, které byly i se způsobem jejich výpočtu popsány v předchozí kapitole, byly zpracovány příslušnými funkcemi v programu MS Excel. Jelikož pouze 6 typů kontrol obsahuje více než 2 varianty proměnných, byly číselné charakteristiky zpracovány pouze u nich. Je zřejmé, že *normální kontrola*, kterou projde každý cestující, neobsahuje žádné kontroly navíc, a proto je průměr u této kontroly nejnižší. Tato kontrola je nejběžnější, a proto je *rozsah výběru* nejvyšší, kde minimum má hodnotu 30 s a maximum 290 s. Nejvyšší průměr je u *kontroly zavazadla*, je to z důvodu malého rozsahu výběru, a s tím související sníženou přesností číselných charakteristik. Větší průměr je odůvodněn i tím, že je tato kontrola z hlediska časové náročnosti nejnáročnější. Kontroly, které nejsou uvedeny v tabulce, měly jen 1 variantu proměnné a proto jejich charakteristiky nebylo možné zpracovat [8] [9].

Tabulka 2: Číselné charakteristiky bezpečnostních kontrol

	Normální kontrola	Kontrola výbušnin	Kontrola obuvi	Kontrola zavazadla	Kontrola obuvi a výbušnin	Kontrola zavazadla a výbušnin	Všechny kontroly
Rozsah výběru	59	11	6	2	3	3	88
Průměr [s]	99,86	149,9	154,17	208,5	138,67	170	128,66
Směr. Odchylka [s]	50,75	64,08	48,06	103,94	18,037	46,49	107,74
Rozptyl výběru [s ²]	2575,95	4106,29	2309,367	10804,5	325,33	2161	11606,99
Minimum [s]	30	56	76	135	120	119	30
Maximum [s]	290	264	206	282	156	210	959
Variační rozpětí [s]	260	208	130	147	36	91	929

Nyní bylo možné statistický soubor pomocí Sturgesova pravidla rozdělit do tříd vzorcem:

$$k \approx 1 + 3,3 * \log 88 = 7$$

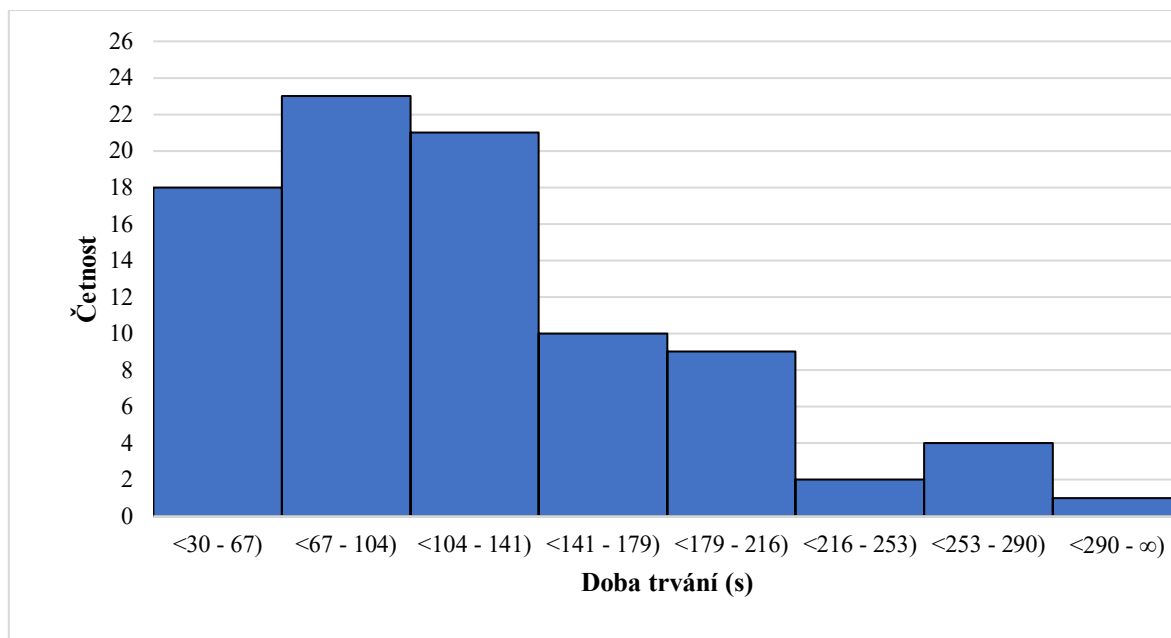
Dosazením vzorce pro výpočet tříd vyšel počet tříd 7. ale kvůli extrémně vychýlené hodnotě 959 s od průměru byla k rozdělení statistického souboru přidána krajní 8. třída. Dále bylo třeba stanovit šířku třídy, a to dosazením hodnot do vzorce pro výpočet šířky třídy.

$$h = \frac{290 - 30}{7} = 37 \text{ s}$$

Dolní mez 1. třídy bude začínat na minimální variantě proměnné 30. Horní mez je vypočítá přičtením šířky třídy k dolní mezi. Dolní mez následující třídy je totožná s horní mezí předcházející třídy. Horní mez 1. třídy je tedy 67 s, což je i hodnota dolní meze 2. třídy. Pokud by naměřená hodnota byla 67, patřila by však do 1. třídy, jelikož u rozdělení do tříd je dolní interval uzavřený a horní interval otevřený. Pro 8. třídu vyšla dolní mez 290 s a proto byla kvůli vychýlené hodnotě 959 s horní mez 8. třídy zvolena jako nekonečno.

Tabulka 3: Rozdělení do tříd a třídni četnosti

Třídy	Dolní a horní mez intervalu [s]	Třídni četnosti
1	<30;67)	17
2	<67;104)	19
3	<104;141)	13
4	<141;179)	6
5	<179;216)	2
6	<216;253)	1
7	<253;290)	1
8	<290; ∞)	1

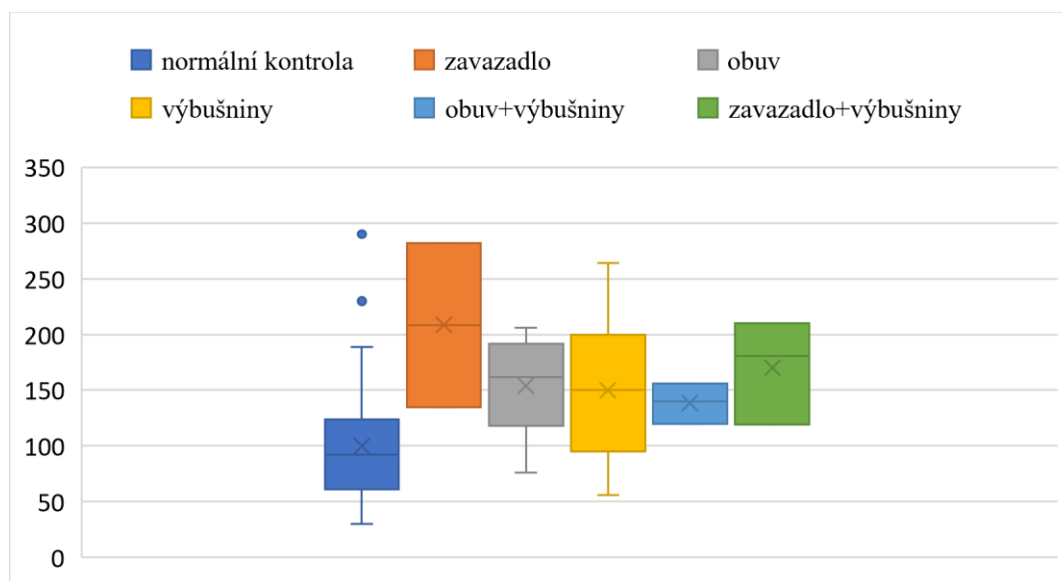


Obrázek 10: Histogram četností

Pro porovnání vybraných typů bezpečnostních kontrol byl zvolen krabicový graf. Porovnávané typy kontrol jsou ty, jejichž číselné charakteristiky byly zpracovány v Tabulce

3. Aby bylo možné tyto kontroly porovnávat v krabicovém grafu, je třeba dále vypočítat ještě dolní kvartil, medián a horní kvartil. Pro výpočet kvartilů se v programu MS Excel používá funkce ***Quartil.exc***, kde se do závorek zadají vybraná data a číslo, které udává, o jaký kvartil se jedná. Může to být číslo 1, které udává dolní kvartil. Po zadání čísla 3 se vypočítá horní kvartil datového souboru. Medián se může také vypočítat funkcí v programu Excel. Výpočet mediánu je zajištěn funkcí ***Median***. Pro výpočet mediánu lze využít také funkce ***Quartil.exc***, kde se za číslo udávající druh kvartilu napíše 2.

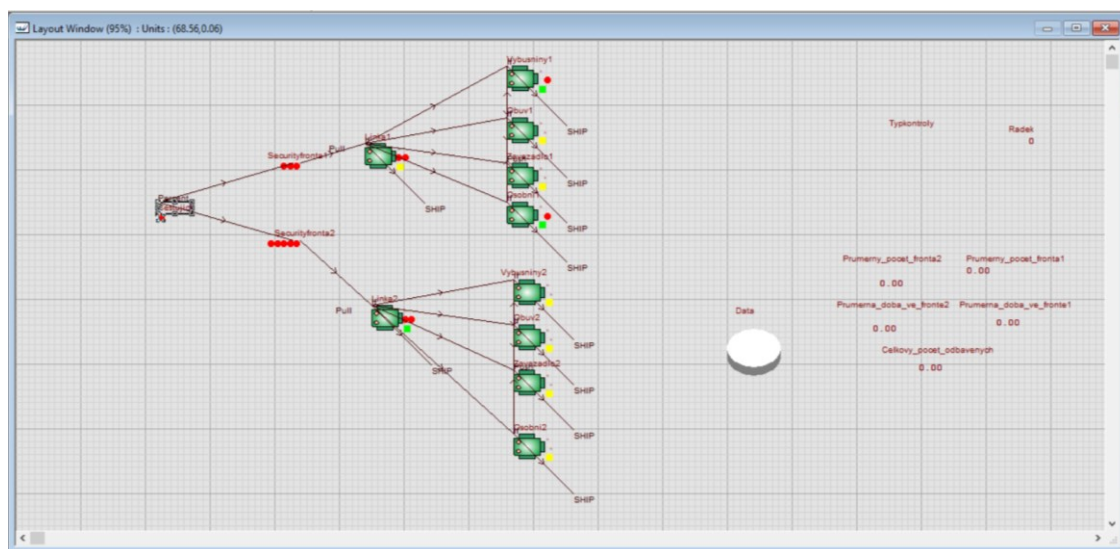
Z porovnání typů kontrol krabicovým grafem lze zjistit, že největších hodnot maxima a nejmenších hodnot minima nabývá *normální kontrola*. Zároveň jsou však hodnoty dolního a horního kvartilu v rozsahu od 61 s do 124 s. Tento rozsah značí, že 50 % všech cestujících, kteří projdou normální kontrolou, stráví při této kontrole čas v tomto rozmezí. Nejvyšší rozsah dolního a horního kvartilu je u kontroly zavazadla, kde je dolní kvartil 135 s a horní kvartil 282 s [8] [9].



Obrázek 11: Krabicový graf

5 Tvorba modelu v simulačním softwaru Witness

Simulační model byl sestaven na základě Obrázku 10. Obrázek 12 zobrazuje rozložení použitých prvků. Názvy všech prvků byly zvoleny co nejjednodušeji pro dobrou orientaci v simulačním modelu. Cestující, kteří vstupují k bezpečnostní kontrole, představují *součásti* a jsou označeny názvem „*Cestujici*“. Fronty, které vznikají před bezpečnostní kontrolou, představují *zásobníky* s názvy „*Securityfronta1*“ a „*Securityfronta2*“. Rámový detektor a rentgenovou kontrolu příručních zavazadel představuje „*Linka1*“, jelikož těmito procesy musí projít každý cestující bez výjimky, byly tyto prvky spojeny do jednoho stroje. Na druhém stanovišti bezpečnostní kontroly je ekvivalentem „*Linka2*“. Stroje „*Vybusniny1*“ a „*Vybusniny2*“ reprezentují detektory výbušnin. Pro znázornění kontroly obuvi byly použity stroje „*Obuv1*“ pro první linku kontroly a „*Obuv2*“ pro druhou linku. Kontrola zavazadla je vyjádřena stroji „*Zavazadlo1*“ a „*Zavazadlo2*“. U osobní kontroly byl stejně jako u ostatních kontrol použit stroj. Stroje, které představují osobní kontrolu mají názvy „*Osobni1*“ a „*Osobni2*“.



Obrázek 12: Základní simulační model v software Witness

Pro zobrazení průměrné fronty cestujících byly v modelu vytvořeny reálné proměnné. Tyto proměnné znázorňují i průměrný čas, který cestující průměrně stráví ve frontě. Pro potřeby této práce byla vytvořena i proměnná znázorňující celkový počet cestujících, kteří bezpečnostní kontrolou projdou. Pro zobrazení výstupů simulace byl použit koláčový graf. A jako poslední proměnná se v modelu nachází *Typkontroly*, který je zde použit z důvodu přiřazení atributu součásti v podobě čísla. Aby bylo možné zapsat výstupní data do programu MS Excel, byla zde použita proměnná *radek*.

Tabulka 4: Popis proměnných

Proměnná	Co proměnná představuje
<i>Prumerny_pocet_fronta1</i>	Průměrný počet součástí ve frontě k bezpečnostní lince 1
<i>Prumerny_pocet_fronta2</i>	Průměrný počet součástí ve frontě k bezpečnostní lince 2
<i>Prumerna_doba_ve_fronte1</i>	Průměrná doba, kterou součásti stráví ve frontě na linku 1
<i>Prumerna_doba_ve_fronte2</i>	Průměrná doba, kterou součásti stráví ve frontě na linku 2
<i>Celkovy_pocet_odbavenych</i>	Celkový počet součástí, které prošly kontrolou
<i>Celkovy_pocet_vstupu</i>	Celkový počet součástí, které vstoupily do modelu
<i>Vytizenost_vybusniny1</i>	Doba, po kterou pracuje stroj Vybusniny1
<i>Vytizenost_obuv1</i>	Doba, po kterou pracuje stroj Obuv1
<i>Vytizenost_zavazadla1</i>	Doba, po kterou pracuje stroj Zavazadla1
<i>Vytizenost_osobni1</i>	Doba, po kterou pracuje stroj Osobni1
<i>Vytizenost_linka1</i>	Doba, po kterou pracuje stroj Linka1
<i>Vytizenost_vybusniny2</i>	Doba, po kterou pracuje stroj Vybusniny2
<i>Vytizenost_obuv2</i>	Doba, po kterou pracuje stroj Obuv2
<i>Vytizenost_zavazadla2</i>	Doba, po kterou pracuje stroj Zavazadla2
<i>Vytizenost_osobni2</i>	Doba, po kterou pracuje stroj Osobni2
<i>Vytizenost_linka2</i>	Doba, po kterou pracuje stroj Linka2
<i>Blokovano_vybusniny1</i>	Doba, po kterou je blokován stroj Vybusniny1
<i>Blokovano_obuv1</i>	Doba, po kterou je blokován stroj Obuv1
<i>Blokovano_zavazadla1</i>	Doba, po kterou je blokován stroj Zavazadla1
<i>Blokovano_osobni1</i>	Doba, po kterou je blokován stroj Osobni1
<i>Blokovano_linka1</i>	Doba, po kterou je blokován stroj Linka1
<i>Blokovano_vybusniny2</i>	Doba, po kterou je blokován stroj Vybusniny2
<i>Blokovano_obuv2</i>	Doba, po kterou je blokován stroj Obuv2
<i>Blokovano_zavazadla2</i>	Doba, po kterou je blokován stroj Zavazadla2
<i>Blokovano_osobni2</i>	Doba, po kterou je blokován stroj Osobni2
<i>Blokovano_linka2</i>	Doba, po kterou je blokován stroj Linka2
<i>Pocet_vybusniny1</i>	Počet součástí, které prošly strojem Vybusniny1
<i>Pocet_obuv1</i>	Počet součástí, které prošly strojem Obuv1
<i>Pocet_zavazadla1</i>	Počet součástí, které prošly strojem Zavazadla1
<i>Pocet_osobni1</i>	Počet součástí, které prošly strojem Osobni1
<i>Pocet_vybusniny2</i>	Počet součástí, které prošly strojem Vybusniny2
<i>Pocet_obuv2</i>	Počet součástí, které prošly strojem Obuv2
<i>Pocet_zavazadla2</i>	Počet součástí, které prošly strojem Zavazadla2
<i>Pocet_osobni2</i>	Počet součástí, které prošly strojem Osobni2
<i>Cas_v_modelu</i>	Průměrný čas, který každá součást strávila v modelu
<i>Typkontroly</i>	Číselný atribut, který součásti přiřazuje typ kontroly
<i>Radek</i>	Proměnná potřebná k zápisu dat do MS Excel

5.1 Nastavení součásti

Součást je v simulačním modelu použita jen jedna. Jedná se o součást, která představuje cestující, kteří vstupují do stanoviště bezpečnostní kontroly. Jelikož součást představuje osoby, které se při bezpečnostní kontrole pohybují samy, je součást nastavena jako aktivní. Maximální počet příchodů (Maximum Arrivals) je nastaveno na Unlimited (nekonečno). V pozdějších fázích experimentů se tento maximální počet příchodů bude měnit podle dané situace. Čas vstupu první součásti do modelu (First Arrival At) je nastaven na 0. Pro časovou mezeru mezi příchody cestujících bylo použito exponenciální rozdělení a s tím související funkce pro generování pseudonáhodných hodnot *NEGEXP*. Střední hodnota tohoto rozdělení bude mít v rámci dalších experimentů různé hodnoty. Množství cestujících, kteří přicházejí zároveň (Lot size), je nastaven na 1. Cestující tedy přicházejí k frontě jednotlivě. Z důvodu různých druhů bezpečnostních kontrol a jejich kombinací bylo nutné v akcích při vytvoření součásti (Actions on Create) přiřadit každému cestujícímu typ kontroly, kterou cestující absolvuje. Pravděpodobnost, jaký typ kontroly bude cestujícímu přiřazen, byla spočítána pomocí naměřených hodnot, a to tím způsobem, že daný počet naměřeného typu kontroly byl vydělen celkovým počtem naměřených hodnot. Vypočítané pravděpodobnosti typů kontrol jsou uvedeny v Tabulce 6.

Tabulka 5: Pravděpodobnosti všech druhů kontrol

Typ kontroly	Označení	Pravděpodobnost	Četnosti kontrol
Normální kontrola	1	0,670	59
Kontrola zavazadla	2	0,023	2
Osobní kontrola a kontrola zavazadla	3	0,011	1
Kontrola obuvi	4	0,068	6
Kontrola výbušnin	5	0,125	11
Kontrola zavazadla a obuvi	6	0,011	1
Kontrola obuvi a výbušnin	7	0,034	3
Kontrola zavazadla a výbušnin	8	0,034	3
Osobní prohledání, kontrola obuvi a výbušnin	9	0,011	1
Kontrola zavazadla, obuvi a výbušnin	10	0,011	1
Součet		1	88

Následný zápis v akcích při vytvoření součásti je následující:

DIM nahodne AS REAL

nahodne = UNIFORM (0,1)

IF nahodne < 0.67

Typkontroly = 1

ELSEIF nahodne >= 0.67 AND nahodne < 0.693

Typkontroly = 2

ELSEIF nahodne >= 0.693 AND nahodne < 0.705

Typkontroly = 3

ELSEIF nahodne >= 0.705 AND nahodne < 0.772

Typkontroly = 4

ELSEIF nahodne >= 0.772 AND nahodne < 0.898


```

Typkontroly = 5
ELSEIF nahodne >= 0.898 AND nahodne < 0.909
Typkontroly = 6
ELSEIF nahodne >= 0.909 AND nahodne < 0.943
Typkontroly = 7
ELSEIF nahodne >= 0.943 AND nahodne < 0.977
Typkontroly = 8
ELSEIF nahodne >= 0.977 AND nahodne < 0.989
Typkontroly = 9
ELSEIF nahodne >= 0.989 AND nahodne <= 1
Typkontroly = 10
ENDIF

```

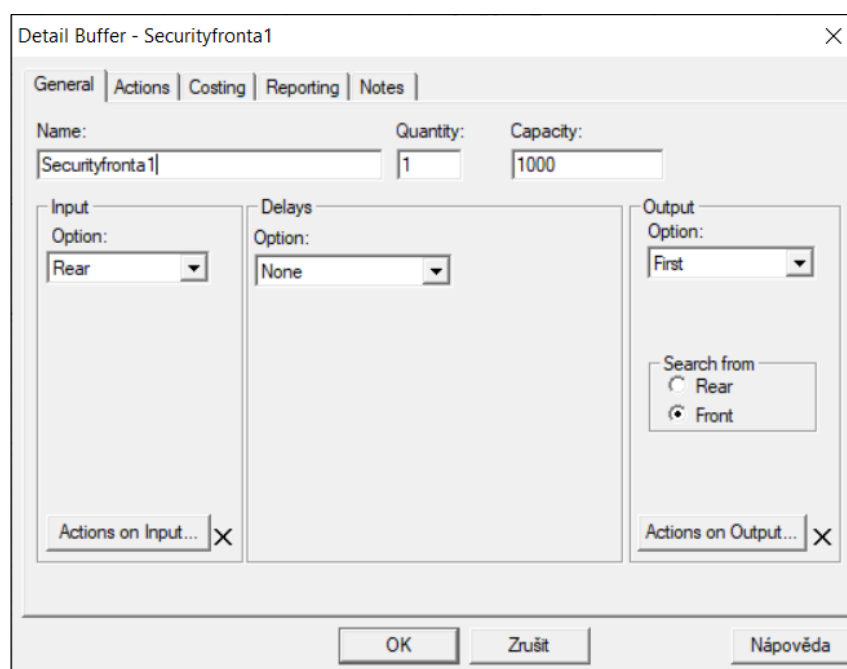
Příkaz *DIM nahodne AS REAL* vytvoří dočasnou proměnnou pojmenovanou *nahodne*, která je typu reálná. Příkaz *nahodne = UNIFORM (0,1)* vygeneruje hodnotu dočasné proměnné jako hodnotu rovnoměrného rozdělení z intervalu 0,1.

Pro součást bylo v případě využití obou linek využito pravidlo *PERCENT*, kdy byly součásti posílány do obou front rovnoměrně. V případě, že byla v provozu pouze jedna linka, bylo použito pravidlo *PUSH*.

Obrázek 13: Nastavení součásti

5.2 Nastavení zásobníků

U nastavení zásobníků *Securityfronta1* a *Securityfronta2*, které představují frontu před bezpečnostní kontrolou, bylo ponecháno základní nastavení, které je přednastavené již při vytvoření zásobníku. Kapacita zásobníku (*Capacity*) byla nastavená na 1000. Tato kapacita je dostačující pro potřeby této práce, jelikož ve skutečnosti by byla taková fronta nereálná. Zdržení v zásobníku (*Delays*) je nastaveno jako žádné, jelikož cestující ve frontě čekají, až se uvolní místo v bezpečnostní kontrole. Ke zdržení tedy v zásobníku nedochází. Nastavení zásobníků v programu Witness je zobrazeno na obrázku 14



Obrázek 14: Nastavení zásobníku

5.3 Nastavení strojů

Stroje použité v simulačním modelu představují různé druhy kontrol. Jako první stroje, kterým cestující procházejí, jsou *Linka1* nebo *Linka2*, které představují normální kontrolu. Při této kontrole se může v systému nacházet více cestujících. V praxi se při této kontrole nacházejí v systému 3 cestující. Je to cestující, který si odkládá věci do připravených přepravek, cestující procházející bezpečnostním rámem a cestující, který si své věci bere zpět z přepravky. Z tohoto důvodu byl typ stroje (*Type*) zvolen jako násobná stanice (*Multiple Station*), kde je počet stanic nastaven jako 3 a počet součástí ve stanici nastaven na hodnotu 1, což znamená, že ve stroji mohou být zároveň 3 součásti. Doba obsluhy je nastavena jako 1/3 doby obsluhy z naměřených hodnot, a to kvůli 3 součástem, které se ve stroji mohou nacházet najednou. U strojů Linka 1 a Linka 2 je ve vstupních pravidlech

(*From*) nastaveno, aby si stroje braly součásti přímo z fronty na bezpečnostní kontroly *Securityfronta1* a *Securityfronta2*. Tato funkce je zajištěna vstupním pravidlem *PULL*. Výstupními pravidly (*To*) bylo třeba zajistit následný tok součásti, podle toho, jaký atribut byl součástí na začátku přidělen. Následný zápis výstupních pravidel vypadá takto:

```
IF Typkontroly = 1
  PUSH to SHIP
ELSEIF Typkontroly = 2
  PUSH to Zavazadlo1
ELSEIF Typkontroly = 3
  PUSH to Osobni1
ELSEIF Typkontroly = 4
  PUSH to Obuv1
ELSEIF Typkontroly = 5
  PUSH to Vybusniny1
ELSEIF Typkontroly = 6
  PUSH to Obuv1
ELSEIF Typkontroly = 7
  PUSH to Obuv1
ELSEIF Typkontroly = 8
  PUSH to Vybusniny1
ELSEIF Typkontroly = 9
  PUSH to Osobni1
ELSEIF Typkontroly = 10
  PUSH to Obuv1
ELSE
  Wait
ENDIF
```

Obrázek 15: Nastavení stroje *Linka1*

Zbývající stroje byly nastaveny jako jednoduché (single) z toho důvodu, že se v těchto kontrolách nachází pouze 1 cestující. Aby bylo možné stanovit dobu obsluhy těchto strojů, tak bylo nutné tyto doby obsluh odhadnout. Tento odhad byl proveden z důvodu, že měřiči nebyli schopni sledovat a zaznamenávat každý typ kontroly zvlášť. Tyto hodnoty byly vypočítány tak, že se od průměrů daných typů kontrol odečetl průměrný čas normální kontroly. Jednotlivé doby obsluhy jsou uvedeny v následující Tabulce 7.

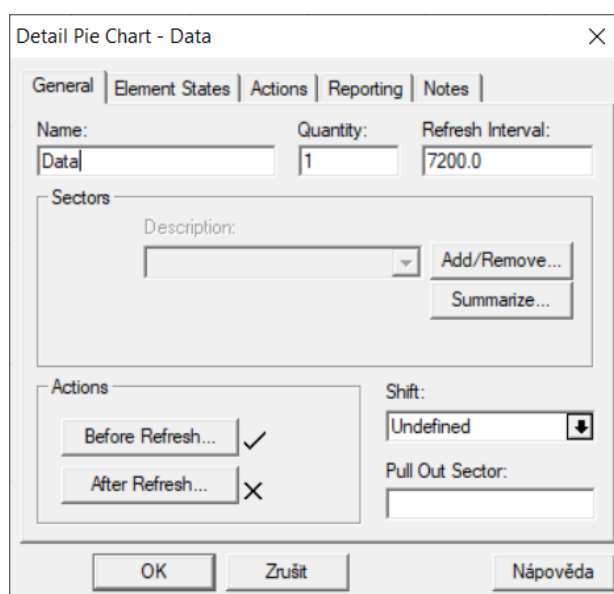
Tabulka 6: Průměrné hodnoty různých typů kontrol

	Průměry
Výbušniny	50,04
Obuv	54,30
Zavazadlo	108,64
Osobní	135,33

U strojů, které znázorňují zbývající kontroly, je další tok součástí takový, že buď opustí model, což je zajištěno pravidlem PUSH TO SHIP, nebo v případě kombinované prohlídky pokračuje k dalšímu typu kontroly, což je zajištěno také pravidlem PUSH.

5.4 Nastavení zápisu do MS Excel

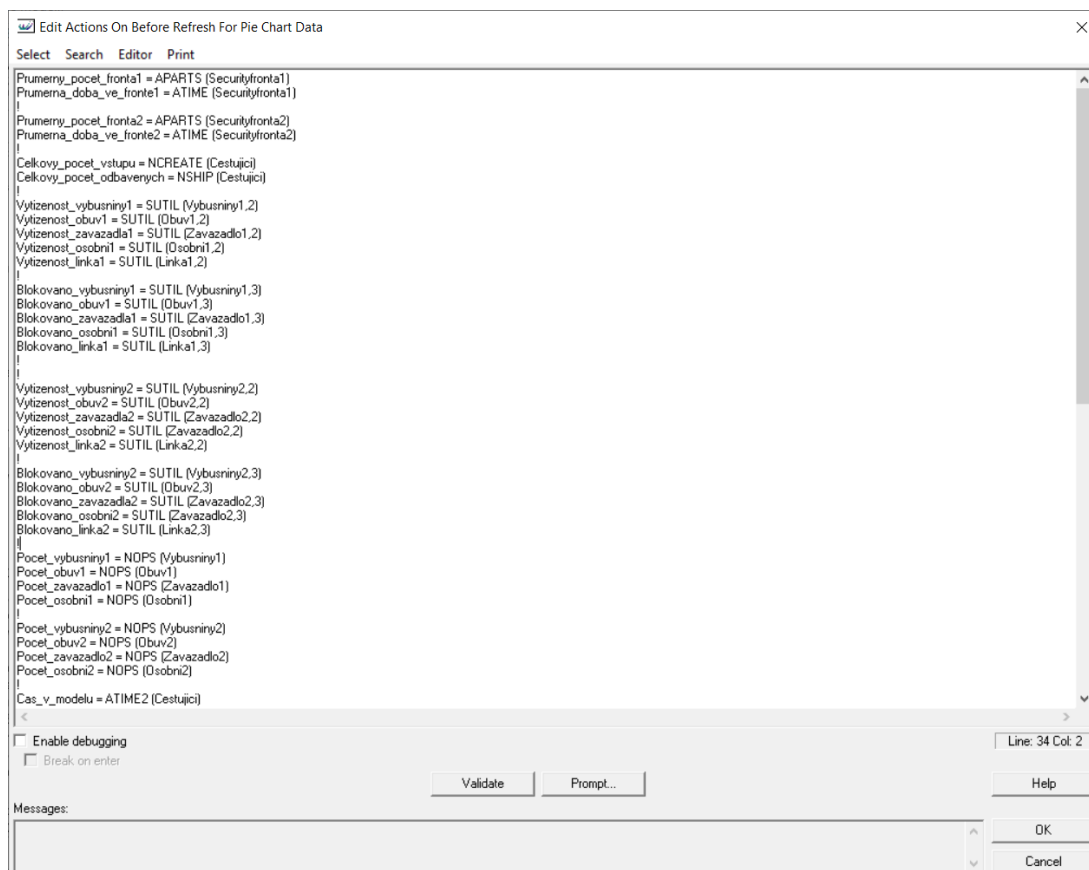
Pro zápis výstupních dat ze simulačního modelu do programu MS Excel byla použita součást koláčový graf (*Pie*) s názvem *Data*. Jelikož pro zápis dat do MS Excel stačí pouze jeden koláčový graf, byla kvantita prvku (*Quantity*) nastavena na 1. Čas obnovy dat (*Refresh interval*) je při prvních experimentech nastaven na hodnotu 7200 s, což odpovídá 2 hodinám. Interval 2 hodin byl zvolen z toho důvodu, že při odbavení cestujících při jednom letu je bezpečnostní kontrola otevřena pouze 2 hodiny. Při ukončení bezpečnostní kontroly, tedy po 2 hodinách dochází k zápisu vyhodnocených dat do programu MS Excel.



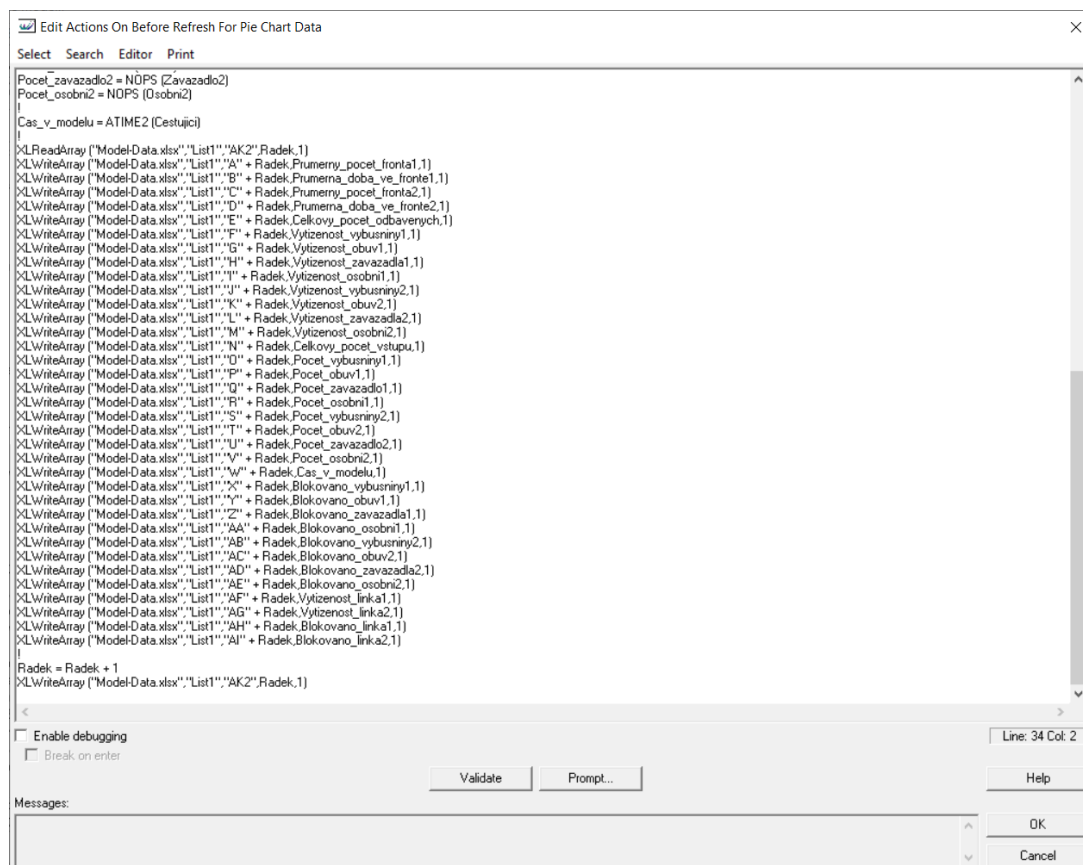
Obrázek 16: Nastavení koláčového grafu

Aby byl zápis dat do MS Excel možný, je nutné tento zápis nejprve nadefinovat v okně *Before refresh*, což umožní zápis dat ještě před obnovením zápisu. V zápisu bylo nutné k jednotlivým proměnným v modelu přiřadit funkci. Reálným proměnným *Prumerny_pocet_fronta1* a *Prumerny_pocet_fronta2*, které představují průměrný počet cestujících ve frontách před bezpečnostní kontrolou, byla přiřazena funkce *APARTS*, která definuje průměrný počet součástí nacházející se v prvku. Aby bylo možné definovat průměrnou dobu čekání ve frontě před bezpečnostní kontrolou, byla reálný proměnným *Prumerna_doba_ve_fronte1* a *Prumerna_doba_ve_fronte2* přiřazena funkce *ATIME*. Pro zjištění celkového počtu cestujících, kteří prošli bezpečnostní kontrolou, byla proměnné *Celkovy_pocet_odbavenych* přiřazena funkce *NSHIP*, která definuje počet součástí, které byly z modelu odeslány funkcí *SHIP*. Funkce *SUTIL* byla přiřazena ke každému stroji. Funkce byla nastavena tak, aby byla zjištěno procento simulačního času, kdy stroj pracuje, a kdy je blokován. Dále byla nastavena proměnná *Cas_v_modelu*, která pomocí

funkce *ATIME2* stanovuje průměrnou dobu obsluhy součástí a čekání, neboli průměrnou dobu, kterou součást stráví v modelu. Funkce *NOPS* byla přiřazena ke všem strojům, kromě strojů *Linka1* a *Linka2*, a to z důvodu vypočtení počtu součástí, které prošly jednotlivými stroji. Kompletní zápis v koláčovém grafu je zobrazen na Obrázku 17, který zobrazuje nastavení proměnných a Obrázku 18, kde je zobrazeno nastavení zápisu výstupních dat do programu MS Excel.



Obrázek 17: Zápis nastavení proměnných v koláčovém grafu



Obrázek 18: Nastavení zápisu dat do MS Excel v koláčovém grafu

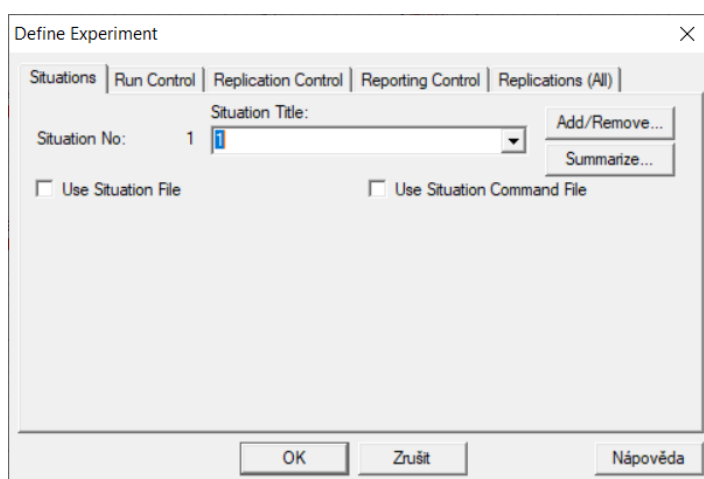
6 Simulační experimenty

Tato kapitola se bude věnovat simulačním experimentům, jejich nastavování a vyhodnocení experimentů. U prvního experimentu bude porovnávána intenzita vstupního toku cestujících při trvání kontroly 2 hodin. U dalších experimentů bude pracováno s fiktivními scénáři, které by v praxi mohly nastat. V těchto případech bude sledována maximální kapacita systému.

6.1 Nastavení experimentu

Pro správné fungování simulačních experimentů je třeba tyto experimenty správně nastavit. Nastavení samotného experimentu lze v simulačním software nalézt v záložce *Experiment*. V záložce *Experiment* se po rozkliknutí *Define...* v programu zobrazí okno, které je zobrazeno v níže uvedeném Obrázku 19. V okně *Situation Title* se nastavuje počet situačních scénářů, které můžou v průběhu experimentu nastat. Jelikož se bude počítat při experimentu vždy s jednou situací, je nastavena tato hodnota na 1. V záložce *Run Control* se nastavuje délka běhu jedné replikace (*Replication Length*). Bezpečnostní kontrola je v případě jednoho letu otevřena po dobu 2 hodin, což odpovídá 7200 sekundám. V části

Execution Mode se nastavuje způsob opakování simulačního experimentu. Pro potřeby této práce byl zvolen způsob *Restart*, což znamená, že po ukončení jednoho běhu simulace se běh simulačního modelu zastaví a běh simulace začíná znovu od začátku. V záložce *Replication Control* se nastaví, při jakém opakování experiment začne. Je proto zvoleno číslo 1. Pro nastavení počtu opakování slouží záložka *Replications (All)*, kde se počet pokusů přidává v okně *Replications Description*. Kvůli krátkému časovému běhu simulace mohl být zvolen větší počet opakování jednotlivých experimentů.



Obrázek 19: Nastavení experimentu

6.2 Experiment s porovnáním intenzity vstupního toku

Tento experiment se bude věnovat závislosti výstupních dat ze simulace na změně intenzity vstupního toku cestujících. Bylo provedeno 8 experimentů a měnily se intenzity vstupního toku cestujících od hodnoty 100 do hodnoty 360 cestujících. Nastavení experimentu a jeho vyhodnocení bude rozebráno v následujících částech kapitoly.

6.2.1 Nastavení simulačního experimentu

Pro experiment bylo zvoleno základní nastavení modelu, které je popsáno v kapitole 5. V průběhu těchto experimentů byla měněna pouze 1 hodnota, a to střední hodnota EX u součásti *Cestující*. Hodnoty, které byly do funkce NEGEXP dosazeny, jsou popsány v Tabulce 8.

Tabulka 7: Intenzita vstupního toku a střední hodnota EX

Intenzita vstupního toku cestujících [cestující/h]	100	120	144	180	200	240	300	360
Střední hodnota EX	36	30	25	20	18	15	12	10

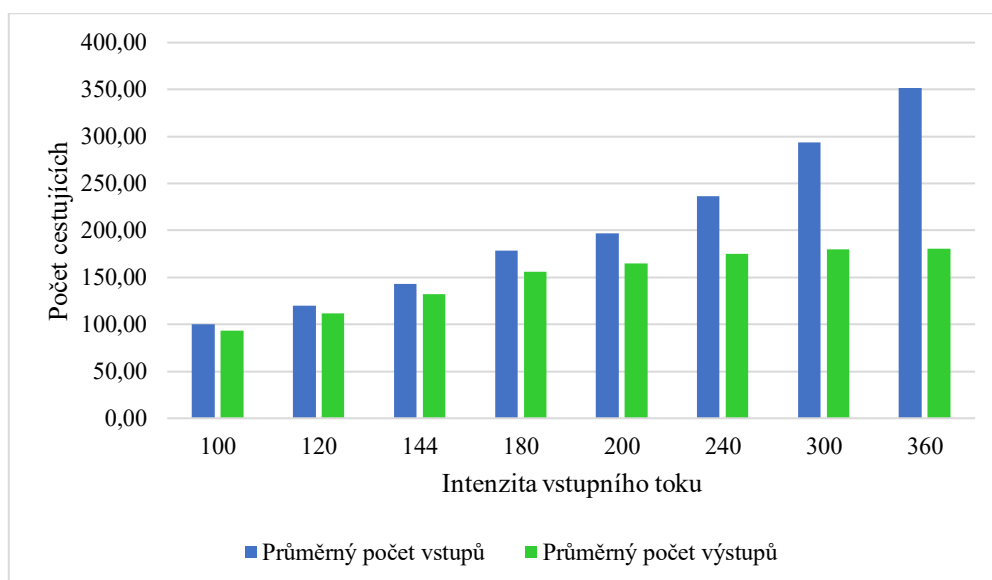
6.2.2 Vyhodnocení simulačního experimentu

Tabulka 9 zobrazuje měnící se hodnoty průměrné doby ve frontě (EW). Dále byly spočítány i hodnoty dolní a horní meze EW na intervalu spolehlivosti 95 %. Pro výpočet těchto hodnot byla použita definovaná funkce *CONFIDENCE* v programu MS Excel. V posledních 2 sloupcích lze vidět rozdíl v průměrném počtu vstupů do modelu a průměrném počtu výstupů z modelu. Tento rozdíl je detailněji zobrazen v Grafu 3.

Tabulka 8: Výstupní data v závislosti na intenzitě vstupního toku

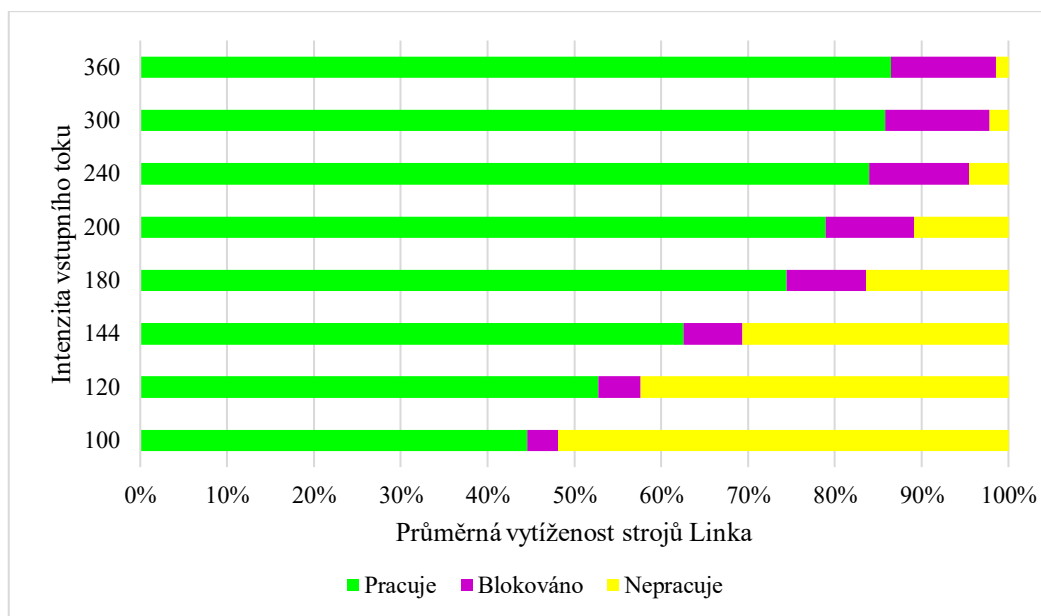
Intenzita vstupního toku za hodinu	EW [s]	EW [min]	Dolní mez EW [s]	Horní mez EW [s]	Průměrný počet vstupů	Průměrný počet výstupů
100	29,78	0,50	21,47	38,09	100,33	93,27
120	45,04	0,75	33,55	56,53	120,20	111,63
144	77,66	1,29	57,71	97,60	142,77	131,97
180	164,46	2,74	119,17	209,74	178,43	156,20
200	234,30	3,90	176,48	292,11	197,03	165,10
240	404,61	6,74	334,25	474,96	236,17	175,17
300	648,54	10,81	582,45	714,64	294,00	179,53
360	831,59	13,86	775,41	887,76	351,63	180,73

Porovnání průměrného počtu vstupů a výstupů je zobrazeno na Grafu 3. Z výstupních hodnot lze vypožorovat, že porovnávané hodnoty mají při intenzitě vstupního toku 144 cestujících za hodinu minimální rozdíl. Tento rozdíl činí 11 cestujících, kteří nestihnou projít celou bezpečnostní kontrolou. Od této intenzity se však rozdíl značně prohlubuje. U intenzity vstupního toku 180 činí rozdíl už 22 cestujících. U experimentu, kdy byla intenzita vstupního toku nastavena na hodnotu 360 systémem, nezvládlo průměrně projít 170 cestujících.



Obrázek 20: Průměrný počet vstupů a výstupů

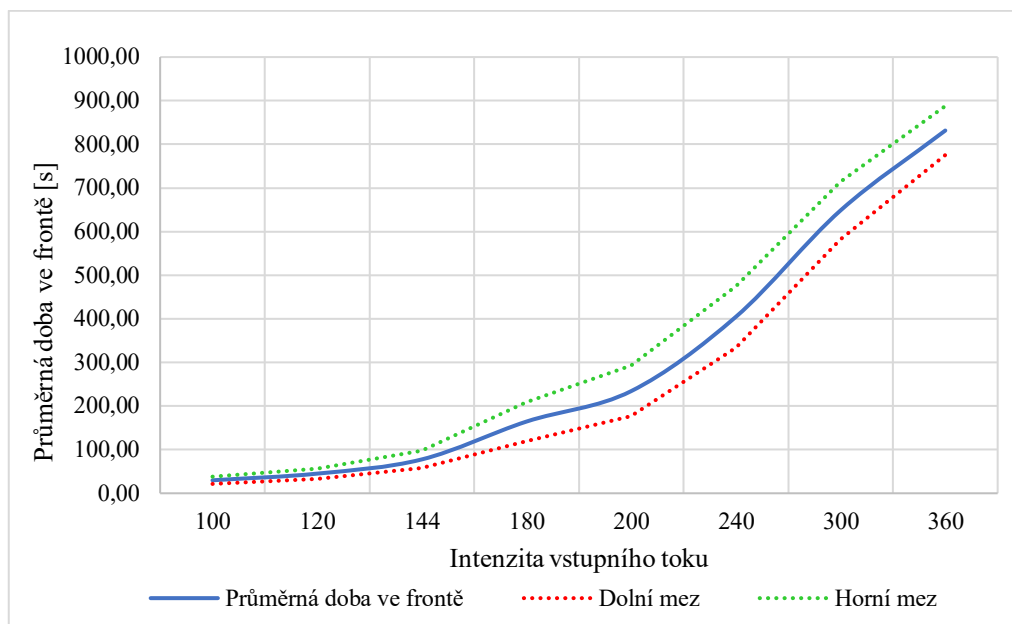
Graf 4 zobrazuje vývoj průměrné vytiženosti strojů Linka v závislosti na rostoucí intenzitě vstupního toku. Nejnižší průměrná vytiženost je u intenzity vstupního toku 100 cestujících za hodinu. Doba, po kterou stroje průměrně nepracují, se pohybuje kolem 50 %. Od intenzity vstupního toku cestujících 240 a výše se vytiženost stroje pohybuje kolem hodnoty 85 %. Poslední 3 stroje jsou průměrně blokovány po dobu kolem 12 % jejich provozu.



Obrázek 21: Průměrné vytížení strojů Linka

Na grafu 5 lze vidět poměr intenzity vstupního toku cestujících s průměrnou dobou ve frontě. Tato doba dle výstupních hodnot evidentně roste v závislosti na rostoucí intenzitě vstupního toku. Do úrovně 144 cestujících je hodnota průměrné doby ve frontě pod hranicí

100 s. Od této intenzity však průměrná doba roste až do hodnoty 831,59 s u intenzity vstupního toku 360 cestujících za hodinu. V grafu jsou zobrazeny i hodnoty dolní a horní meze, které jsou průměrně vychýleny o 6 % od průměru.



Obrázek 22: Poměr intenzity vstupního toku cestujících s průměrnou dobou ve frontě

6.3 Experiment s porovnáním využití 1 linky a 2 linek

Jako druhý experiment byla zvolena totožná situace, při které byly na letišti Ostrava-Mošnov naměřeny hodnoty pro tuto práci, s tím rozdílem, že budou porovnávána výstupní data u experimentu s 1 linkou, a poté s 2 otevřenými linkami. Let byl proveden letounem Boeing 737 - 8AS. Kapacita letounu byla naplněna, a proto byl celkový počet cestujících, kteří prošli bezpečnostní kontrolou 174. Jelikož se jednalo pouze o 1 let, bylo stanoviště bezpečnostní kontroly otevřeno 2 hodiny. U tohoto letu byla otevřena pouze 1 linka bezpečnostní kontroly.

6.3.1 Nastavení simulace

Pro uskutečnění tohoto experimentu bylo třeba upravit model. V první části experimentu se pracovalo pouze s 1 linkou bezpečnostní kontroly, a proto bylo třeba změnit výstupní pravidlo u součásti *Cestujici*. Toto bylo zajištěno pravidlem *PUSH*. Dále se v součásti *Cestujici* kvůli danému počtu cestujících upravil omezený počet součástí vstupujících do

modelu *Maximum Arrivals*, kde byla nastavena hodnota 174. Střední hodnota EX byla upravena na hodnotu 36 s. Běh simulace byl nastaven na 7200 s, což odpovídá 2 hodinám. Počet replikací byl pro větší přesnost zvolen jako 30. V druhé části experimentu, kdy byly otevřeny obě linky bezpečnostní kontroly, se výstupní pravidlo u součásti *Cestující* opět upravilo tak, aby byly součásti odesílány do obou linek. Pro zajištění této funkce bylo použito pravidlo *PERCENT*.

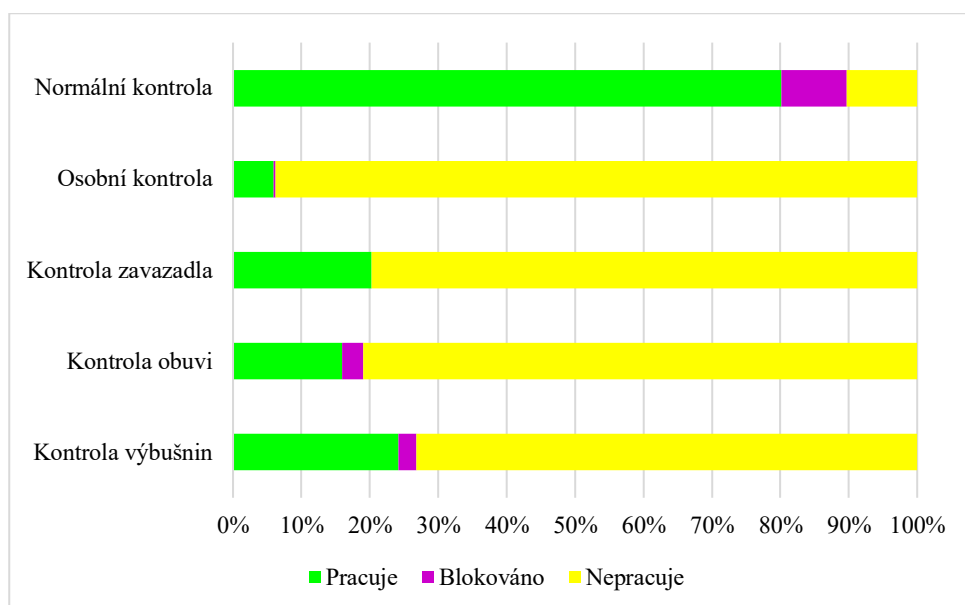
6.3.2 Vyhodnocení simulace

V Tabulce 10 lze vidět průměrný počet cestujících, kteří vstoupili a vystoupili z modelu. Dále je zde uvedený průměrný čas ve frontě a v systému. Z tabulky je evidentní, že u bezpečnostní kontroly s 1 linkou průměrně 5 cestujících nestihne projít celou bezpečnostní kontrolou. U bezpečnostní kontroly s 2 linkami jsou to 4 cestující. Tento údaj však neznačí, že systém s 2 linkami průměrně neobslouží přibližně o jednoho cestujícího méně. Je to způsobeno tím, že cestující nepřichází k systému najednou, ale postupně. Neobsloužení cestujících jsou pravděpodobně ti, kteří přišli na poslední chvíli. Tito cestující ve většině případů zůstanou v některém ze strojů, které představují typy bezpečnostních kontrol. V praxi by však personál bezpečnostní kontroly nechal tyto cestující bezpečnostní kontrolu dokončit. Z výsledků lze vidět, že systém s 1 linkou je dostačující. Veliký rozdíl lze pozorovat u průměrné doby ve frontě, kdy při kontrole s 1 linkou je tato doba 394,49 s. U bezpečnostní kontroly s využitím obou linek je to 35,70 s. Rozdíl lze pozorovat i u průměrné doby v systému, kdy je hodnota u systému s 2 linkami více než dvakrát menší než u systému s 1 linkou.

Tabulka 9: Průměrný počet cestujících, kteří vstoupili a vystoupili z modelu

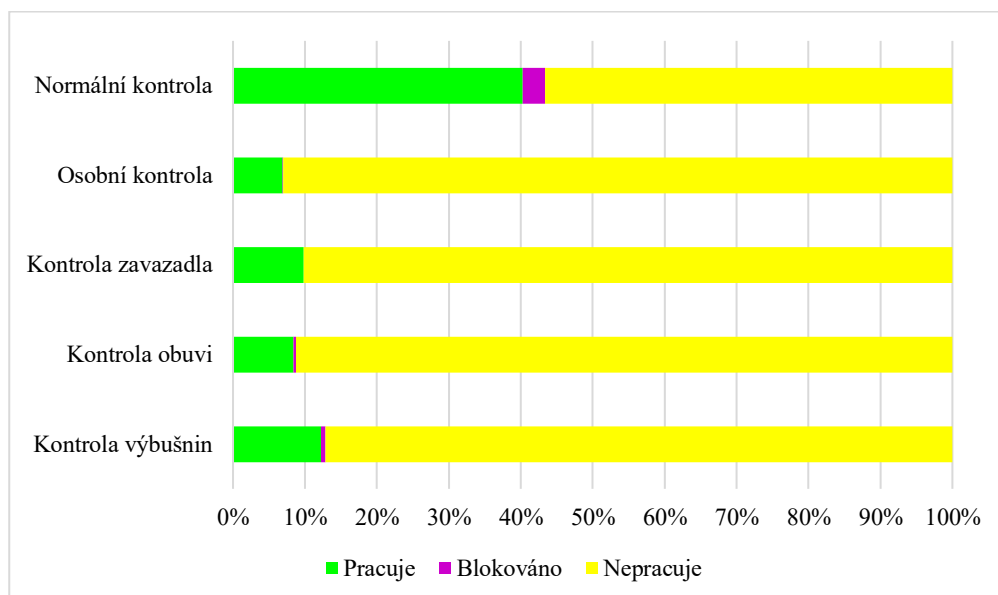
		Počet vstupů [Cestující]	Počet výstupů [Cestující]	Průměrná doba ve frontě [s]	Průměrná doba v systému [s]
<i>Cestující</i>	1 linka	173,93	168,50	394,49	532,13
	2 linky	173,93	169,47	35,70	249,20

Na Grafu 6 lze vidět průměrné využití strojů u systému s 1 linkou bezpečnostní kontroly. Nejvíce vytiženým strojem je Linka1. Stroj pracuje kolem 74 % doby, kdy je v provozu. Zároveň je také strojem, který je nejvíce blokován, a to po dobu 9 %. Stroj, který představuje osobní kontrolu je vytížen nejméně. Doba, kdy stroj nepracuje dosahuje 94 % provozní doby.



Obrázek 23: Průměrné využití strojů u systému s 1 linkou bezpečnostní kontroly

U systému s dvěma obslužnými linkami se vytíženost strojů, které představují kontrolu zavazadla, kontrolu obuvi a kontrolu výbušnin pohybují kolem 10 %. U normální kontroly je vytíženost 40 %, což svědčí o tom, že systém není plně využit. Grafické zobrazení vytíženosti strojů je zobrazeno v Grafu 7.



Obrázek 24: Průměrné využití strojů u systému s 2 linkami bezpečnostní kontroly

Z výsledků simulačního experimentu je patrné, že využití obou linek v případě jednoho letu s obsazeností 174 cestujících by znamenalo plné nevyužití linek bezpečnostní kontroly. A to z důvodu průměrné vytíženosti stroje Linka, které dosahovalo pouze 40 %. U systému s využitím 1 linky lze pozorovat větší průměrnou dobu ve frontě, a to přibližně 395 s. Tato doba je však z hlediska spokojenosti cestujících přijatelná. U této situace je tedy dostačující využití pouze 1 linky bezpečnostní kontroly.

6.4 Experiment s porovnáním využití 1 linky a 2 linek s dvěma lety

Jako další experiment byla zvolena podobná situace jak u předchozího experimentu s tím rozdílem, že výstupní data simulace s 1 linkou a 2 linkami budou porovnávána u dvou letů zároveň. V této situaci se počítalo opět s letouny Boeing 737 - 8AS. Jelikož má letoun kapacitu 174 cestujících, tak při dvou letech bude celkový počet cestujících v bezpečnostní kontrole 348. Stanoviště bezpečnostní kontroly bude opět otevřeno pouze po dobu 2 hodin, jelikož letouny mají naplánovaný odlet v podobný čas.

6.4.1 Nastavení simulace

Pro uskutečnění tohoto experimentu bylo pracováno se dvěma verzemi modelu. V první části experimentu byl simulační model spuštěn pouze s 1 linkou bezpečnostní kontroly, a to bylo zajištěno výstupním pravidlem *PUSH* u součásti *Cestujici*. V součásti *Cestujici* se kvůli určitému počtu cestujících upravil omezený počet součástí vstupujících do modelu *Maximum Arrivals*, kde byla nastavena hodnota 348. Střední hodnota EX byla upravena na hodnotu 20 s, aby intenzita vstupního toku odpovídala počtu celkových vstupujících součástí. Běh simulace byl nastaven na 7200 s. Počet replikací byl zvolen zase jako 30. V druhé části experimentu, bylo pracováno s oběma linkami bezpečnostní kontroly, a proto se výstupní pravidlo u součásti *Cestujici* opět upravilo pravidlem *PERCENT*, aby byly součásti odesílány do obou linek.

6.4.2 Vyhodnocení simulace

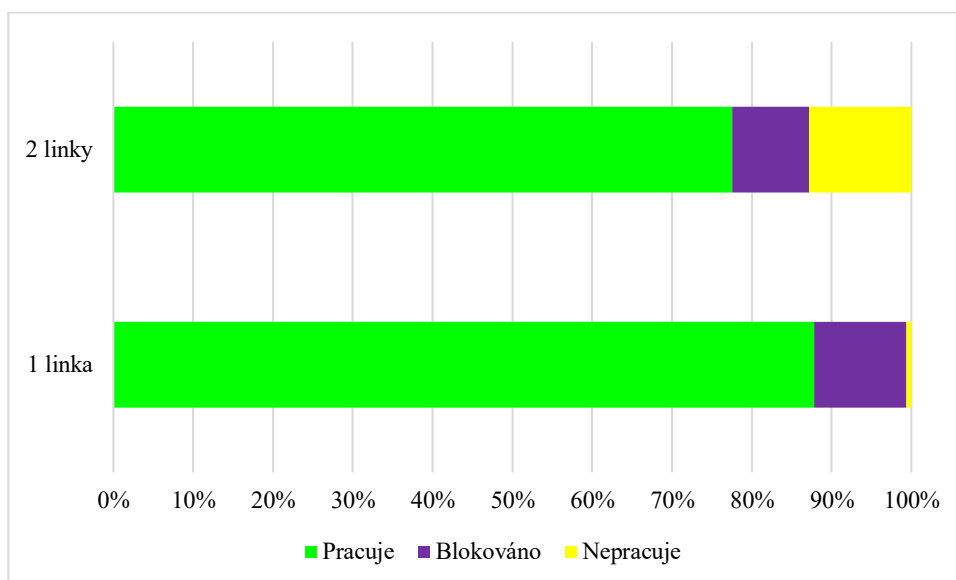
Průměrný počet cestujících, kteří vstoupili a vystoupili z modelu je uveden v Tabulce 11, kde je také uveden průměrný čas ve frontě a v systému. Dle výsledků uvedených v tabulce je patrné, že průměrně 159 cestujících nestihne v případě bezpečnostní kontroly

s 1 linkou projít celou kontrolou. U bezpečnostní kontroly s využitím obou linek nestihne bezpečnostní kontrolou projít průměrně 17 cestujících. Značný rozdíl je u průměrné doby ve frontě, kdy při kontrole s 1 linkou je tato doba 1724,99 s. V případě využití obou linek je to 297,90 s. Průměrná doba v systému se dvěma linkami trvá pouze 23 % průměrné doby systému s 1 linkou.

Tabulka 10: Průměrný počet cestujících, kteří vstoupili a vystoupili z modelu

		Počet vstupů [cestující]	Počet výstupů [cestující]	Průměrná doba ve frontě [s]	Průměrná doba v systému [s]
<i>Cestující</i>	1 linka	343,50	183,93	1724,99	1777,75
	2 linky	343,50	326,10	297,90	412,39

Na Grafu 8 lze vidět průměrné využití strojů Linka v případech s využitím 1 linky a 2 linek. Pokud by bezpečnostní kontrola probíhala pouze s 1 linkou, byla by vytíženost stroje na úrovni 87 % doby, kdy stroj pracuje. U bezpečnostní kontroly s dvěma linkami stroj nepracuje přibližně 13 % času, kdy bezpečnostní kontrola probíhá. Zároveň je i méně blokován, a to z 9 % provozní doby oproti 11 % v případě využití 1 linky.



Obrázek 25: Průměrné využití strojů Linka

Výsledky simulačního experimentu ukazují, že využití jedné linky v případě dvou letů s celkovým počtem cestujících 348 cestujících je nereálné. Systémem s jednou funkční linkou by nezvládlo projít přibližně 47 % všech cestujících. V systému se dvěma linkami by

nestihlo projít pouze 5 % všech cestujících. V tomto případě by však personál bezpečnostní kontroly nechal zbylé cestující bezpečnostní kontrolu dokončit, pokud by se nacházeli v systému.

6.5 Experiment se změnou doby bezpečnostní kontroly

Tento experiment se bude zabývat proměnlivou dobou bezpečnostní kontroly. V této fiktivní situaci se bude počítat se 400 cestujícími, což může představovat kapacitu letounu Boeing 747 - 8I. Experiment bude porovnávat za jakou dobu by bylo možné odbavit cestující v systému s jednou linkou a v systému s dvěma linkami.

6.5.1 Nastavení simulace

Pro potřeby tohoto experimentu bylo třeba opět nastavit simulaci. Stejně jako u předchozích experimentů se v první části pracovalo pouze s 1 linkou bezpečnostní kontroly. To bylo obstaráno pravidlem *PUSH*. V součásti *Cestujici* se kvůli danému počtu cestujících upravil maximální počet součástí vstupujících do modelu *Maximum Arrivals* na hodnotu 400. Střední hodnota EX byla upravena na hodnotu 20 s. Počet replikací byl zvolen opět jako 30. V druhé části experimentu, kdy byly otevřeny obě linky bezpečnostní kontroly se výstupní pravidlo u součásti *Cestujici* upravilo pravidlem *PERCENT* pro posílání součástí do obou linek. V obou částech experimentů byl jako základní čas replikace, tedy doba otevření bezpečnostní kontroly nastavena na základní hodnotu 7200 s. Tato hodnota byla každým dalším experimentem zvednuta o hodnotu 900 s, což odpovídá 15 minutám.

6.5.2 Vyhodnocení simulace

V Tabulce 12 je zobrazeno porovnání výstupních hodnot s využitím 1 linky bezpečnostní kontroly v závislosti na délce bezpečnostní kontroly. V tabulce lze vidět, že hodnoty počtu výstupů se blíží k nastavené hodnotě celkových cestujících až u času 16200 s, což odpovídá času 4 h 30 min. Dále jsou v tabulce uvedeny počty cestujících, kteří prošli jednotlivými stroji, v závislosti na délce času bezpečnostní kontroly. Nejvíce cestujících projde kontrolou výbušnin, a to přibližně 21 % všech cestujících. Nejméně jich projde osobní kontrolou.

Tabulka 11: Porovnání výstupních hodnot s využitím 1 linky

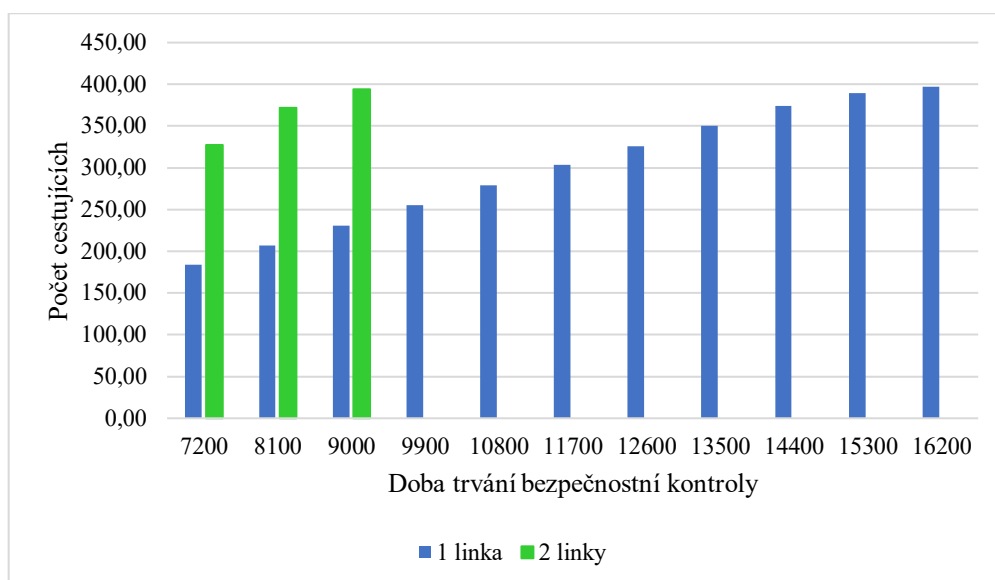
Čas bezpečnostní kontroly [s]	Počet výstupů	Průměrný počet cestujících, kteří prošli strojem			
		Kontrola výbušnin	Kontrola obuvi	Kontrola zavazadla	Osobní kontrola
7200	184,14	38,76	23,76	13,62	3,45
8100	207,23	44,07	26,67	15,30	4,53
9000	230,67	48,43	30,13	17,20	5,20
9900	255,47	53,90	33,63	18,83	5,50
10800	278,93	59,20	37,30	20,63	6,10
11700	303,83	64,10	40,24	22,66	6,52
12600	326,10	69,30	43,40	24,57	7,40
13500	350,63	74,17	46,87	26,73	7,80
14400	374,07	78,80	50,10	28,43	8,47
15300	389,40	82,43	52,27	30,20	8,93
16200	397,17	84,03	53,37	30,87	9,07

V Tabulce 13 jsou uvedeny výstupní hodnoty u systému s dvěma linkami. Z tabulky lze vidět, že tento systém je schopen odbavit téměř 400 cestujících už při času bezpečnostní kontroly 9000 s, což odpovídá 2 h a 30 min. Nejvíce cestujících projde kontrolou výbušnin, a to přibližně 10 % všech cestujících. Osobní kontrolou projde opět nejméně cestujících.

Tabulka 12: Výstupní hodnoty u systému s dvěma linkami

Čas bezpečnostní kontroly [s]	Počet výstupů	Průměrný počet cestujících, kteří prošli strojem			
		Kontrola výbušnin	Kontrola obuvi	Kontrola zavazadla	Osobní kontrola
7200	327,5	34,60	21,85	12,25	3,60
8100	371,9333333	38,98	24,87	14,13	4,17
9000	393,9	41,57	26,50	15,22	4,48

Graf 9 zobrazuje grafické porovnání počtu cestujících, které jsou systémy schopné odbavit. Je zcela patrné, že systém s 2 linkami odbaví 400 cestujících za dobu 9000 s. Systém s 1 linkou odbaví 400 cestujících až za dobu 16200 s, což je v praxi téměř nereálné.



Obrázek 26: Grafické porovnání počtu cestujících, které jsou systémy schopné odbavit

7 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo zjistit, zda je možné v simulačním software WITNESS nasimulovat proces bezpečnostní kontroly na letišti. Ověření proběhlo pomocí simulačního modelu vytvořeného podle naměřených hodnot.

V úvodní kapitole je popsána charakteristika procesu bezpečnostní kontroly na letišti. Popsány byly nároky na personál bezpečnostní kontroly se školením, které personál musí pro výkon funkce absolvovat. Dále byly popsány prvky a přístroje používané při bezpečnostní kontrole cestujících. Zde bylo vysvětleno, na jakém principu přístroje fungují.

Následující kapitola popisuje simulační program WITNESS a jeho základní funkce. V této části je vysvětlen ještě proces naměření hodnot na Letišti Ostrava, a.s. Naměření hodnot proběhlo v únoru 2020 na Letišti Ostrava, a.s. po dohodě s vedoucím oddělení bezpečnosti letiště panem Petrem Voráčem. Při měření byly hodnoty zaznamenávány do zápisníků dvěma měřiči. V zápisníku byl uveden typ kontroly a následně doba, jakou bezpečnostní kontrola trvala. Celkem se podařilo naměřit 88 časů cestujících procházejících bezpečnostní kontrolou. Tato naměřená data byla následující kapitole statisticky analyzována.

Čtvrtá kapitola je věnována teorii a vzorcům, které jsou potřebné pro zjištění základních číselných charakteristik statistického souboru. Průměrný čas trvání bezpečnostní kontroly u jednoho cestujícího, která začíná odložením příručních zavazadel a drobností do přepravky a končí přebráním těchto věcí zpět, byl přibližně 128,6 s. Poté byl soubor rozdělen do osmi tříd o příslušné šířce třídy a následně byl vykreslen do histogramu četností. Naměřené doby trvání různých druhů analyzovaných kontrol byly porovnány v krabicovém grafu.

V páté kapitole je rozebrán proces tvorby základního simulačního modelu bezpečnostní kontroly na letišti. V kapitole je popsáno nastavení jednotlivých prvků a proměnných, díky kterým bylo možné nastavit výstupní data a následný zápis dat do programu MS Excel.

Poslední kapitola se zabývá tvorbou a vyhodnocením simulačních experimentů. Celkem proběhly čtyři experimenty, které porovnávají různé proměnné. První experiment se věnuje změně intenzity vstupního toku cestujících. V druhém experimentu byla nasimulována totožná situace, jako u proběhlého měření na Letišti Ostrava. Následně bylo u této situace porovnáno využití jedné linky a dvou linek. Další experiment se věnoval podobné situaci, s tím rozdílem, že počet cestujících byl dvojnásobný. V posledním experimentu bylo zjišťováno, jaká doba bezpečnostní kontroly by byla třeba k odbavení 400 cestujících.

V experimentu je opět uvedeno porovnání využití jedné linky bezpečnostní kontroly a dvou linek bezpečnostní kontroly.

Nasimulované situace v simulačním software Witness ukazují, že je možné v tomto programu nasimulovat proces bezpečnostní kontroly na letišti. Simulační modely v simulačním software Witness je možné využít k nasimulování různých situací, které by mohly v případě procesu bezpečnostní kontroly nastat.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BORDOVSKÝ, Lukáš. *Optimální dispozice pracovišť bezpečnostní kontroly cestujících* [online]. Brno, 2011 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/3352>
- [2] ŠČUREK, R. *Vybrané technické prostředky detekce a pyrotechnická ochrana na letišti*. [online]. Ostrava, 2008 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <https://www.fbi.vsb.cz/export/sites/fbi/060/.content/galerie-souboru/studijni-materialy/letiste.pdf>
- [3] ŠČUREK, R. a Daniel M. *Technologie fyzické ochrany civilního letiště*. Brno: CERM, 2014. ISBN 978-80-7204-862-5.
- [4] ŠČUREK, R. *Studie analýzy rizika protiprávních činů na letišti*. [online]. Ostrava, 2009 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: https://www.fbi.vsb.cz/export/sites/fbi/060/.content/galerie-souboru/studijni-materialy/analzy_rizika_letisti.pdf
- [5] DORDA, M.; HRADIL, M.; MÝDLO, L. *Simulace technologických systémů a procesů* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava/Univerzita Pardubice, 2012 [cit. 2020-05-18]. ISBN 978-80-248-3270-8. Dostupné z: https://issuu.com/michdor/docs/m15_text
- [6] LANNER GROUP. *WITNESS Training Reference Manual* [online]. 2009 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: https://studylib.net/doc/18364029/witness-training-reference-manual?fbclid=IwAR0YCN-mYoITadMPIslik3B_8KxL5H9RIY3z4Yvw--_KH9KAsEDxoBvgao
- [7] LANNER GROUP, WITNESS Service and Process Performance Edition [online]. 2005 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <http://stepon.tistory.com/attachment/cfile6.uf@1661C24B4DE77365139E13.pdf>
- [8] OTIPKA, P., ŠMAJSTRLA, V. *Statistický soubor s jedním argumentem. PRAVDĚPODOBNOST A STATISTIKA* [online]. 5. 1. 2006 [vid. 2017-01-27]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~oti73/cdpast1/>
- [9] DORDA, M. *Zpracování náhodného výběru - popisná statistika. Kvantitativní metody organizace a řízení II* [online]. [vid. 2017-01-27]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~dor028/KMORII_1.pdf

[10] LETIŠTĚ OSTRAVA, a.s. Stroje a zařízení I. [online]. [vid. 2015-06-25]. Dostupné z:
<http://www.airport-ostrava.cz/cz/page-stroje-a-zarizeni-i/>

SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

Obrázky

Obrázek 1: RTG zařízení.....	14
Obrázek 2: Ruční detektor kovů společnosti PCS spol. s r.o	16
Obrázek 3: Průchozí rámový detektor.....	16
Obrázek 4: Pracovní plocha software Witness	21
Obrázek 5: Základní nastavení součásti	24
Obrázek 6: Základní nastavení zásobníku	25
Obrázek 7: Základní nastavení stroje	26
Obrázek 8: Schéma stanoviště bezpečnostní kontroly	30
Obrázek 9: Popis krabicového grafu	33
Obrázek 10: Histogram četností.....	35
Obrázek 11: Krabicový graf	36
Obrázek 12: Základní simulační model v software Witness	37
Obrázek 13: Nastavení součásti	41
Obrázek 14: Nastavení zásobníku.....	42
Obrázek 15: Nastavení stroje Linka1	44
Obrázek 16: Nastavení koláčového grafu.....	45
Obrázek 17: Zápis nastavení proměnných v koláčovém grafu.....	46
Obrázek 18: Nastavení zápisu dat do MS Excel v koláčovém grafu	47
Obrázek 19: Nastavení experimentu	48
Obrázek 20: Průměrný počet vstupů a výstupů	50
Obrázek 21: Průměrné vytížení strojů Linka.....	50
Obrázek 22: Poměr intenzity vstupního toku cestujících s průměrnou dobou ve frontě	51
.....	51

Obrázek 23: Průměrné využití strojů u systému s 1 linkou bezpečnostní kontroly	53
Obrázek 24: Průměrné využití strojů u systému s 2 linkami bezpečnostní kontroly	53
Obrázek 25: Průměrné využití strojů Linka.....	55
Obrázek 26: Grafické porovnání počtu cestujících, které jsou systémy schopné odbavit	58

Tabulky

Tabulka 1: Prvky simulačního software Witness.....	23
Tabulka 2: Naměřené hodnoty na letišti Ostrava-Mošnov	31
Tabulka 3: Číselné charakteristiky bezpečnostních kontrol	34
Tabulka 4: Rozdělení do tříd a třídní četnosti.....	35
Tabulka 5: Popis proměnných	38
Tabulka 6: Pravděpodobnosti všech druhů kontrol.....	40
Tabulka 7: Průměrné hodnoty různých typů kontrol	44
Tabulka 8: Intenzita vstupního toku a střední hodnota EX	49
Tabulka 9: Výstupní data v závislosti na intenzitě vstupního toku.....	49
Tabulka 10: Průměrný počet cestujících, kteří vstoupili a vystoupili z modelu.....	52
Tabulka 11: Průměrný počet cestujících, kteří vstoupili a vystoupili z modelu.....	55
Tabulka 12: Porovnání výstupních hodnot s využitím 1 linky	57
Tabulka 13: Výstupní hodnoty u systému s dvěma linkami.....	57

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Simulační model bezpečnostní kontroly

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych zde poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalu Dordovi, Ph.D. za jeho rady a čas, který mi věnoval při konzultacích ohledně zpracování mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat doc. Ing. Dušanu Teichmannovi, Ph.D. za rady a připomínky v rámci předmětu Bakalářský projekt.

Také bych chtěl poděkovat Filipu Skopalovi za jeho pomoc s naměřením dat do mé bakalářské práce. Ještě chci poděkovat panu Petru Voráčovi a personálu bezpečnostní kontroly na Letišti Ostrava, a.s. za umožnění tohoto měření.

Děkuji své milované přítelkyni za neochvějnou péči, kterou mi v průběhu psaní práce poskytovala. Nakonec děkuji svým rodičům, že mě podporovali během každé situace.